



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

SISTEM PERINGATAN DINI MENGGUNAKAN DETEKSI KEMIRINGAN KEPALA PADA PENGEMUDI KENDARAAN BERMOTOR YANG MENGANTUK

Mustofa Amirullah
NRP 07111645000078

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc
Ir. Tasripan, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**SISTEM PERINGATAN DINI MENGGUNAKAN DETEKSI
KEMIRINGAN KEPALA PADA PENGEMUDI KENDARAAN
BERMOTOR YANG MENGANTUK**

Mustofa Amirullah
NRP 07111645000078

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc
Ir. Tasripan, MT.

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

EARLY WARNING SYSTEM USING THE HEAD POSITION OF A DROWSY DRIVER

Mustofa Amirullah
NRP 07111645000078

Advisor
Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc
Ir. Tasripan, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING S1 STUDY PROGRAM
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

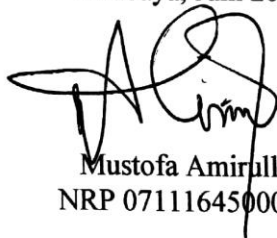
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Sistem Peringatan Dini Menggunakan Deteksi Kemiringan Kepala Pada Pengemudi Kendaraan Bermotor Yang Mengantuk”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2018



Mustofa Amirullah

NRP 07111645000078

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

**SISTEM PERINGATAN DINI MENGGUNAKAN DETEKSI
KEMIRINGAN KEPALA PADA PENGEMUDI KENDARAAN
BERMOTOR YANG MENGANTUK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Elektronika
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc
NIP. 196409021989031003

Dosen Pembimbing II



Ir. Tasripan, MT.
NIP. 196204181990031004



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

SISTEM PERINGATAN DINI MENGGUNAKAN DETEKSI KEMIRINGAN KEPALA PADA PENGEMUDI KENDARAAN BERMOTOR YANG MENGANTUK

Nama : Mustofa Amirullah
Pembimbing I : Dr. Ir. Hendra Kusuma, M. Eng.Sc
Pembimbing II : Ir. Tasripan, MT.

ABSTRAK

Tingginya tingkat kecelakaan yang disebabkan oleh *human error* masih menjadi permasalahan yang dihadapi di Indonesia. Sebesar 69,7% kecelakaan kendaraan bermotor disebabkan oleh *human error*. Kondisi pengemudi yang mengantuk merupakan salah satu faktor penyebab *human error*, sehingga diperlukan sebuah sistem keamanan dalam berkendara untuk menekan permasalahan tersebut. Ketika seseorang berada dalam kondisi mengantuk, terdapat kondisi khusus yang dapat diidentifikasi. Salah satu kondisi tersebut adalah perubahan posisi kepala yang terjadi secara tiba – tiba. Pada tugas akhir ini, dirancang suatu sistem peringatan dini untuk pengemudi yang mengantuk berdasarkan perubahan posisi kepala. Sistem dirancang *wearable* untuk pengemudi mobil dengan menggunakan sensor *accelerometer* MPU-6050 GY-521.

Proses deteksi kondisi kantuk dapat diperoleh dengan cara mengidentifikasi perubahan nilai percepatan pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z yang terjadi serentak. Perubahan posisi kepala untuk kondisi kantuk dideteksi dengan cara memberikan nilai ambang (*threshold*) untuk tiap sumbu. Untuk Pengujian di dalam mobil, nilai percepatan gravitasi pada sumbu X berkisar 0.8g sampai 1.8g, untuk sumbu Y berkisar 3.8g sampai 3.9g , dan untuk sumbu Z berkisar 0.35g sampai 0.45g. Deteksi kantuk yang dilakukan di dalam mobil, dilakukan sebanyak 10 kali pergerakan kepala, dengan nilai ambang untuk sumbu X sebesar 1, sumbu Y sebesar 3.5 dan sumbu z sebesar 0.5. Dari 10 kali pergerakan kepala, 7 pergerakan kepala berhasil terdeteksi dan 3 pergerakan tidak berhasil terdeteksi. Persentase keberhasilan dari pengujian tersebut sebesar 70%.

Kata Kunci : *Wearable*, Deteksi Kondisi Kantuk, Perubahan Posisi Kepala, *Accelerometer*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

EARLY WARNING SYSTEM USING THE HEAD POSITION OF A DROWSY DRIVER

Name : Mustofa Amirullah
Advisor 1st : Dr. Ir. Hendra Kusuma, M. Eng.Sc
Advisor 2nd : Ir. Tasripan, MT.

ABSTRACT

High accident rate that caused by human error still be a problem that must be faced in Indonesia. 69.7% of car accident are caused by human error. The driver's drowsiness is one of the factor causing it. a system for driving is needed to solve that problem. When a person is on a sleepy condition, there is a special condition that can be identified. one of it is the sudden change in head's position. in this final project, designed an early warning system for a sleepy driver based on the head's position. the system is wearable for the driver using accelerometer sensor MPU-6050 GY-521.

The detection process of sleepy condition can be obtained with idenntify the acceleration of X, Y, and Z axis that happen simultaneously. The change of head's position is detected with setting the threshold on each axis. for the test in car, value of gravity acceleration on X axis is about 0.8g to 1.8g, for Y axis is about 3.8g to 3.9g and for Z axis is about 0.35g to 0.45g. Drowsiness detection on the car is obtained after 10 tries of changing the head position with the value of threshold for X axis is 1, Y axis is 3.5 and for Z axis is 0.5. from the 10 tries, 7 of it is detected successfully, and 3 is not detected, so the success percentage is 70%.

Keywords : *Wearable, Detection of sleepiness, Change on head position, Accelerometer*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Strata-1 pada Bidang Studi Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industrim, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul:

SISTEM PERINGATAN DINI MENGGUNAKAN DETEKSI KEMIRINGAN KEPALA PADA PENGEMUDI KENDARAAN BERMOTOR YANG MENGANTUK

Surabaya, Juni 2018

Penulis

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
 1 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Laporan	4
1.7 Relevansi	5
 2 BAB II TEORI DASAR	 7
2.1 Faktor Penyebab Gangguan Fase Tidur	7
2.2 Pola Perilaku Pengemudi yang Mengantuk.....	8
2.3 <i>Inter Integrated Circuit</i> (I ² C)	10
2.4 Sensor MPU-6050 GY-521	14
2.4.1 <i>Accelerometer</i>	16
2.4.2 <i>Gyroscope</i>	17
2.5 Mikrokontroler STM32F4 <i>Discovery</i>	18
 3 BAB III PERANCANGAN SISTEM PERINGATAN DINI PADA PENGEMUDI YANG MENGANTUK	 21
3.1 Blok Fungsional Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk	21
3.2 Spesifikasi Alat	22

3.3	Perancangan <i>Headgear</i> Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk	23
3.4	Perancangan Perangkat Elektrik Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk	24
3.4.1	Perancangan Sumber Daya	24
3.4.2	Perancangan Rangkaian Alarm Indikator Kantuk	26
3.4.3	Perancangan <i>Shield</i> Sensor MPU-6050 GY-521	27
3.4.4	Perancangan Konfigurasi Keseluruhan Sistem Elektrik ..	28
3.5	Perancangan Perangkat Lunak Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk	29
3.5.1	Pengambilan Data Sensor <i>Accelerometer</i>	29
3.5.2	Proses Monitoring Posisi Kepala.....	33
3.5.3	Proses Deteksi Kondisi Kantuk Pada Pengemudi.....	36
4	BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM PERINGATAN DINI PADA PENGEMUDI YANG MENGANTUK.....	39
4.1	Pengujian Pengambilan Data <i>Acceleormeter</i> Untuk Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk	39
4.2	Pengujian Proses Monitoring Posisi Kepala Untuk Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk	44
4.3	Pengujian Proses Deteksi Kantuk Untuk Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk	48
5	BAB V PENUTUP	51
6	DAFTAR PUSTAKA	53
7	LAMPIRAN A	55
A.1.	Program Pengambilan Data <i>Accelerometer</i>	55
A.2.	Program MATLAB Untuk Pembacaan Serial.....	62
A.3.	Data Pengujian Sensor <i>Accelerometer</i> Tanpa DLPF	62
A.4	Data Pengujian Sensor <i>Accelerometer</i> Menggunakan DLPF....	68
A.5.	Data Pengujian Monitoring Perubahan Posisi Kepala	73
A.6	Data Pengujian Monitoring Perubahan Posisi Kepala Di Dalam Mobil 78	
8	RIWAYAT HIDUP	91

DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

Gambar 2.1 Grafik Perbandingan Produksi Hormon Melatonin[9]	8
Gambar 2.2 Persentase Faktor Penyebab Kecelakaan[1]	8
Gambar 2.3 Klasifikasi Pola Perilaku Pengemudi yang Mengantuk...	9
Gambar 2.4 Contoh Pola Pergerakan Kepala Dari Ciri Pengemudi Yang Mengantuk[5].....	10
Gambar 2.5 Konfigurasi Sistem Komunikasi I ² C[11].....	10
Gambar 2.6 Kondisi Sinyal START dan STOP[11]	11
Gambar 2.7 Sinyal Transmisi Data Antara Master Dan Slave[11] ...	12
Gambar 2.8 Kondisi ACK dan NACK[11].....	12
Gambar 2.9 Format Pengiriman Data I ² C[11]	13
Gambar 2.10 Pengiriman Data Master Transmitt Mode[11]	13
Gambar 2.11 Pengiriman Data Master Receive Mode[11].....	14
Gambar 2.12 Skematik Modul Sensor MPU-6050 GY-521[13].....	15
Gambar 2.13 Modul Sensor MPU-6050 GY-521[13].....	15
Gambar 2.14 Mekanisme Cara Kerja Sensor Accelerometer[15].....	16
Gambar 2.15 Sitem Elektro-Mekanik Dari Gyroscope[14]	18
Gambar 2.16 Blok Diagram STM32F429I – DISC1[17]	19
Gambar 3.1 Diagram Blok Fungsional Sistem	21
Gambar 3.2 Ilustrasi Pergerakan Kepala Orang Mengantuk	22
Gambar 3.3 Desain <i>Headgear</i>	23
Gambar 3.4 Desain <i>Headgear</i> Jika Dilihat Dari Berbagai Sudut Pandang.....	24
Gambar 3.5 Koneksi Sumber Daya Untuk STM32F429I-DISC1.....	25
Gambar 3.6 Koneksi Sumber Daya Untuk Sensor MPU-6050 GY-521	25
Gambar 3.7 Pengkabelan <i>Buzzer</i> Dengan Pin STM32F429I-DISC1	26
Gambar 3.8 Desain Skematik Rangkaian Alarm Indikator Kantuk ..	26
Gambar 3.9 Pengkabelan Sensor MPU-6050 GY-521 Dengan Pin STM32F429I-DISC1	27
Gambar 3.10 Desain Skematik <i>Shield</i> Sensor MPU-6050 GY-521 ..	28
Gambar 3.11 Konfigurasi Keseluruhan Sistem Elektrik	29
Gambar 3.12 Pengiriman Data Pada Register 6B	30
Gambar 3.13 Konfigurasi DLPF Pada Register 1A	31

Gambar 3.14 Pengiriman Data Pada Register 1C.....	31
Gambar 3.15 Diagram Alir Pengambilan Nilai Percepatan <i>Accelerometer</i>	33
Gambar 3.16 Diagram Alir Monitoring Posisi Kepala.....	34
Gambar 3.17 Koneksi Antara STM32F429I – DISC1 Dan USB TTL.....	35
Gambar 3.18 Diagram Alir Fase Pengenalan Kondisi Kantuk Pengemudi.....	36
Gambar 4.1 Diagram Blok Pengujian Pengambilan Data <i>Accelerometer</i>	39
Gambar 4.2 Grafik Data <i>Accelerometer</i> Saat Kepala Diam.....	41
Gambar 4.3 Grafik <i>Accelerometer</i> Dengan DLPF Saat Kepala Diam.....	42
Gambar 4.4 Data Pengujian Kondisi Normal Di Dalam Mobil.....	43
Gambar 4.5 Pengujian Kondisi Normal Pengemudi.....	44
Gambar 4.6 Diagram Blok Pengujian Proses Ekstraksi Fitur Perubahan Posisi Kepala	45
Gambar 4.7 Grafik Perubahan Posisi Kepala.....	46
Gambar 4.8 Grafik Perubahan Posisi Kepala Di Dalam Mobil.....	47
Gambar 4.9 Proses Pengujian Monitoring Posisi Kepala	48

DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 3.1 Konfigurasi Digital Low Pass Filter (DLPF)	30
Tabel 3.2 Nilai Sensitivitas LSB <i>Accelerometer</i>	32
Tabel 4.1 Data <i>Accelerometer</i> Saat Pengemudi Dalam Kondisi Normal Tanpa Proses <i>Digital Low Pass Filter</i> (DLPF).....	40
Tabel 4.2 Data <i>Accelerometer</i> Dengan Konfigurasi <i>Digital Low Pass Filter</i> (DLPF)	41
Tabel 4.3 Data <i>Accelerometer</i> Kondisi Normal Di Dalam Mobil.....	42
Tabel 4.4 Data Perubahan Posisi Kepala.....	45
Tabel 4.5 Data Perubahan Posisi Kepala Di Dalam Mobil.....	46
Tabel 4.6 Pengujian Deteksi Kantuk.....	48
Tabel 4.7 Pengujian Deteksi Kantuk Di dalam Mobil.....	49

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Statistik angka kecelakaan yang melibatkan kendaraan bermotor di Indonesia terbilang cukup tinggi. Hal tersebut dapat dilihat dari data angka kecelakaan yang dikeluarkan KNKT (Komite Nasional Keselamatan Transportasi) sejak 2010 sampai 2016 telah terjadi 41 investigasi kecelakaan dengan korban meninggal sebanyak 443 jiwa. Salah satu penyebab kecelakaan berasal dari kesalahan pengemudi (*human error*). Sebesar 69,7% kecelakaan kendaraan bermotor disebabkan oleh *human error*, sedangkan sisanya disebabkan oleh sarana dan prasarana yang tidak memadai[1]. Penyebab *human error* yang sering ditemukan adalah kondisi pengemudi yang mengantuk. Kantuk merupakan suatu transisi kondisi antara sadar dan tidur yang menyebabkan penurunan fungsi pada semua indra.

Deteksi pengemudi yang mengantuk dapat dilakukan dengan analisa keadaan fisiologis, perubahan pola wajah pengemudi, dan perilaku saat berkendara[2]. Salah satu data analisis fisiologi dapat diperoleh dengan menganalisa respon sinyal jantung atau ECG (*Electrocardiography*). Tingkat keberhasilan mendeteksi kantuk menggunakan ECG cukup tinggi, akan tetapi untuk menampilkan sinyal jantung diperlukan perhitungan matematis yang cukup rumit untuk menghasilkan hasil yang presisi. Selain itu, penggunaan ECG juga tidak praktis karena membutuhkan waktu lama untuk set up sistem dan pergerakan pengemudi juga mempengaruhi sensitivitas pembacaan sensor ECG[3]. Deteksi kantuk melalui perubahan pola wajah pengemudi dapat dilakukan dengan cara metode komputasi *computer vision*, yaitu dengan memanfaatkan kamera untuk mengambil gambar wajah pengemudi untuk diolah dengan program komputasi. Proses pengambilan gambar oleh kamera dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar. Seperti contoh intensitas cahaya sekitar yang berubah – ubah, sehingga metode ini kurang efektif untuk mendeteksi kantuk pada pengemudi[4].

Deteksi perilaku pengemudi merupakan cara yang paling banyak digunakan karena tidak membutuhkan perancangan sistem yang kompleks. Salah satu faktor yang dapat dideteksi dari pengemudi yang mengantuk adalah perubahan posisi kepala[5]. Posisi kepala akan tegak

jika pengemudi dalam kondisi tubuh normal dan akan mengalami perubahan posisi secara tiba - tiba jika pengemudi mengantuk. Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, perubahan posisi kepala tersebut akan akan dideteksi menggunakan sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*). Diharapkan dari pengerjaan tugas akhir ini diperoleh data dari pola perubahan kemiringan kepala pengemudi yang mengantuk dan dapat menjadi solusi yang efektif untuk memperkecil tingkat kecelakaan lalu lintas di Indonesia.

1.2 Permasalahan

Pada Tugas Akhir ini yang menjadi permasalahan yaitu:

1. Bagaimana cara membedakan kondisi pengemudi normal dan kondisi pengemudi yang mengantuk dilihat dari perubahan posisi kepala.
2. Bagaimana cara mendeteksi perubahan posisi kepala pengemudi yang mengantuk.
3. Bagaimana cara merancang sistem peringatan dini yang ideal untuk pengemudi yang mengantuk.

1.3 Batasan Masalah

Pada Tugas Akhir ini yang menjadi batasan masalah yaitu:

1. Pengujian dilakukan pada pengemudi mobil.
2. Deteksi kantuk dilakukan dengan melihat pola perubahan posisi kepala yang terjadi secara tiba – tiba.
3. Simulasi pergeseran posisi kepala dilakukan sesuai dengan pergerakan orang saat mengantuk.
4. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi perubahan posisi kepala adalah sensor MPU 6050.

1.4 Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pola perubahan posisi kepala antara pengemudi normal dan pengemudi yang mengantuk.
2. Membuat sebuah alat yang dilengkapi dengan sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) sebagai pendeteksi perubahan posisi kepala pengemudi yang mengantuk.
3. Membuat sistem peringatan dini yang dirancang *wearable* dan dengan sebuah alarm sebagai indikator peringatan.

1.5 Metodologi Penelitian

Perancangan sistem peringatan dini untuk pengemudi yang mengantuk terbagi menjadi empat tahapan, yaitu studi literatur, perancangan sistem, uji coba dan hasil pengujian, serta penyusunan laporan.

Pada tahap studi literatur, dilakukan pencarian literatur buku maupun kumpulan makalah dan jurnal yang mengarah pada topik yang dibahas. Tahapan ini dilakukan untuk mengumpulkan informasi mengenai prinsip kerja sensor dan sistem secara keseluruhan, serta sejarah sistem yang telah ada sebelumnya.

Selanjutnya pada perancangan sistem, akan dilakukan sebuah perancangan sistem secara keseluruhan. Pada tahap kedua ini dibagi menjadi dua yakni *hardware* dan *software*. Pada bagian *hardware* akan dibuat sistem elektrik dari kontroler dan alarm sebagai indikator peringatan untuk pengemudi yang mengantuk. Setelah itu dilakukan perancangan desain *wearable* yang meliputi sebuah *head gear* untuk peletakan sensor dan alarm dan sebuah box untuk peletakan mikrokontroler STM32F429I *Discovery* dan baterai sebagai sumber daya. Pada bagian *software* akan dibuat program untuk mengontrol keseluruhan sistem menggunakan *software* Keil uVision5 dan STM32CubeMX.

Kemudian pada tahap uji coba dan hasil pengujian, akan dilakukan pengujian alat, menganalisa kesalahan atau kegagalan pada alat dan mengatasi permasalahan tersebut. Pengujian dilakukan untuk setiap sistem elektrik maupun pengujian sistem secara keseluruhan yang meliputi integrasi antara *hardware* dan *software*. Proses pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui keandalan sistem dan pengumpulan data – data yang menunjang untuk penelitian Tugas Akhir ini.

Tahapan yang terakhir yaitu penyusunan laporan. Setelah alat berhasil dibuat dan berkerja dengan baik tanpa adanya *error*, pengambilan data dan analisa data terpenuhi, maka tahap selanjutnya yaitu penyusunan laporan untuk buku Tugas Akhir. Diharapkan buku Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua orang, dan dapat dijadikan pedoman dalam melanjutkan dan mengembangkan ide Tugas Akhir ini.

1.6 Sistematika Laporan

Pembahasan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bab pendahuluan, menjelaskan mengenai latar belakang pemilihan topik, perumusan masalah dan batasannya. Bab ini juga membahas mengenai tujuan penelitian, metodologi, sistematika laporan, dan relevansi dari penelitian yang dilakukan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini menjelaskan tentang teori penunjang faktor penyebab gangguan tidur dan pola perilaku seseorang saat mengantuk beserta komponen pendukung yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak untuk sistem pengenalan kondisi kantuk berdasarkan pola perubahan posisi kepala.

Bab III Perancangan Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk

Pembahasan yang dilakukan pada bab ini, mengenai perancangan sistem secara keseluruhan dari perancangan perangkat keras berupa perancangan mekanik dan elektrik, serta perancangan perangkat lunak berupa proses pengambilan data percepatan sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z menggunakan sensor *accelerometer*.

Bab IV Pengujian Dan Analisa Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk

Pembahasan pada bab ini mengenai hasil dari uji coba bagian – bagian pendukung sistem yang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dirancang.

Bab V Penutup

Pada bagian bab penutup, dibahas mengenai kesimpulan dan saran dari hasil pengujian.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan menjadi referensi lanjutan dalam merancang sistem peringatan dini kepada pengemudi yang mengantuk dalam berkendara dengan menggunakan metode yang efisien, sehingga dapat menekan angka kecelakaan di Indonesia yang diakibatkan oleh pengemudi yang mengantuk.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB II

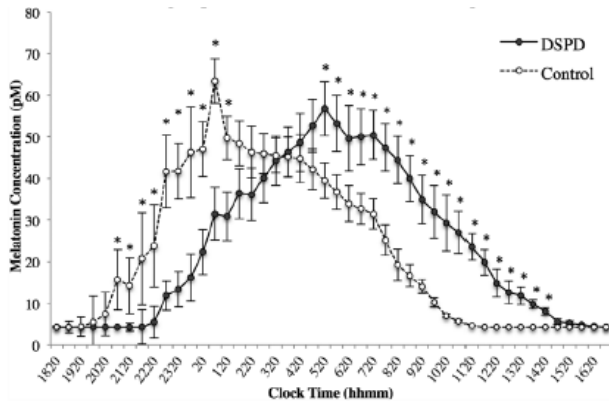
TEORI DASAR

Bab ini menjelaskan tentang teori penunjang faktor penyebab gangguan tidur dan pola perilaku seseorang saat mengantuk beserta komponen pendukung yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak untuk sistem pengenalan kondisi kantuk berdasarkan pola perubahan posisi kepala.

2.1 Faktor Penyebab Gangguan Fase Tidur

Ketika tubuh terjaga terlalu lama, sistem keseimbangan tidur akan terganggu dan tubuh cenderung akan memerintahkan untuk tidur. Keseimbangan tidur dan jam biologis tubuh dikenal dengan ritme sirkadian[6]. Sistem fungsional tubuh dipengaruhi oleh ritme sirkadian, apabila ritme sirkadian terganggu maka sistem fungsional tubuh juga akan terganggu. Jam biologis sirkadian ini dikendalikan oleh bagian otak yang disebut *Suprachiasmatic Nucleus* (SCN), yaitu sel pada hipotalamus yang merespon cahaya dan sinyal gelap. Sinyal SCN akan dikirimkan ke bagian otak lain yang mengontrol hormon, suhu tubuh, dan fungsi lain yang berperan dalam proses mengantuk dan terjaga. Suatu kondisi yang disebut kantuk didefinisikan sebagai sebuah proses yang dihasilkan dari ritme sirkadian dan kebutuhan untuk tidur[7]. Kantuk merupakan suatu transisi kondisi antara sadar dan tidur yang menyebabkan penurunan level kewaspadaan, reaksi, kondisi psikomotor, dan proses pengambilan keputusan[8].

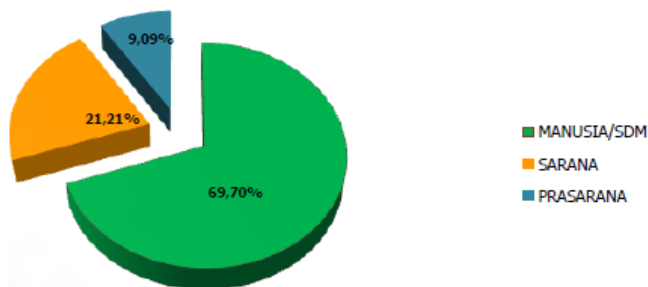
Pergeseran ritme sirkadian disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain faktor kondisi fisik seperti kelelahan atau pola hidup yang menyebabkan jam tidur terganggu. Hal tersebut dapat menyebabkan suatu kondisi yang disebut *Delayed Phase Sleep Disorder* (DSPD). Hormon yang mempengaruhi ritme sirkadian adalah hormon melatonin. Produksi hormon melatonin dapat menyebabkan rasa kantuk dan mengurangi suhu tubuh. Pada kondisi normal, jumlah produksi tertinggi dari hormon melatonin akan terjadi pada tengah malam dan menurun menjelang pagi. Untuk penderita DSPD, siklus produksi hormon melatonin akan terganggu dan akan berdampak negatif pada sistem fungsional tubuh. Perbandingan produksi hormon melatonin antara seseorang dengan siklus tidur terkontrol dan seseorang penderita DSPD dapat dilihat pada grafik Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Grafik Perbandingan Produksi Hormon Melatonin[9]

2.2 Pola Perilaku Pengemudi yang Mengantuk

Kesalahan manusia atau *human error* merupakan faktor terbesar yang menyebabkan angka kecelakaan kendaraan bermotor di Indonesia cukup tinggi. Kondisi pengemudi yang mengantuk dijadikan alasan utama terjadinya *human error*. Persentase faktor penyebab kecelakaan lalu lintas dan angkutan jalan umum yang dikeluarkan oleh KNKT (Komite Nasional Keselamatan Transportasi) pada tahun 2010-2016 dapat dilihat pada Gambar 2.2

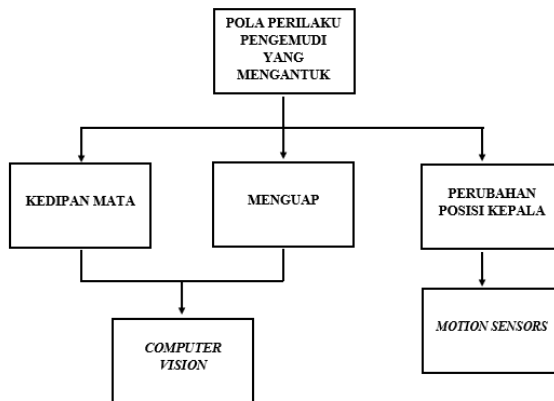


Gambar 2.2 Persentase Faktor Penyebab Kecelakaan[1]

Titik awal terjadinya kantuk tidak dapat diprediksi secara pasti. Pengemudi juga tidak dapat memprediksi akan datangnya kondisi kantuk

tersebut. Kondisi tersebut sangat berbahaya dikarenakan pada saat pengemudi dalam kondisi mengantuk, sistem fungsional dan respon dari pengemudi pada saat menjalankan kendaraan akan menurun. Hal inilah yang akan memicu terjadinya kecelakaan kendaraan bermotor.

Pengemudi yang mengantuk memiliki pola perilaku yang dapat diamati. Beberapa ciri yang dapat diamati antara lain mata yang lebih sering berkedip, mulut yang lebih sering menguap, serta gerakan jatuh dari kepala pengemudi dan kembali ke posisi awal yang dilakukan secara tiba – tiba. Klasifikasi pola perilaku pengemudi yang mengantuk dapat dilihat pada gambar 2.3.

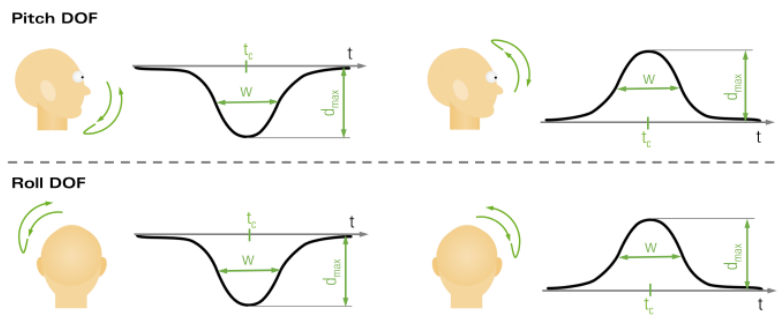


Gambar 2.3 Klasifikasi Pola Perilaku Pengemudi yang Mengantuk

Untuk pengenalan ciri kedipan mata dan mulut yang menguap umumnya dilakukan dengan metode *computer vision*, yaitu dengan memanfaatkan sebuah kamera yang digunakan untuk mengambil gambar dan diolah dengan menggunakan *software* komputer. Sedangkan untuk pengenalan perubahan posisi kepala secara tiba – tiba dapat dilakukan dengan memanfaatkan pembacaan *motion sensor*. Proses pengenalan ciri pengemudi yang mengantuk menggunakan *motion sensor* memiliki kelebihan, yaitu tidak adanya interferensi atau gangguan lingkungan sekitar daripada menggunakan metode *computer vision*.

Perubahan posisi kepala secara tiba – tiba terjadi apabila pengemudi dalam kondisi kantuk yang berat (*excessive sleepiness*). Ditambah lagi adanya faktor kelelahan pengemudi yang mengakibatkan kewaspadaan dari pengemudi menurun[10]. Dalam kondisi ini dibutuhkan usaha yang keras oleh pengemudi untuk tetap waspada pada saat mengendalikan

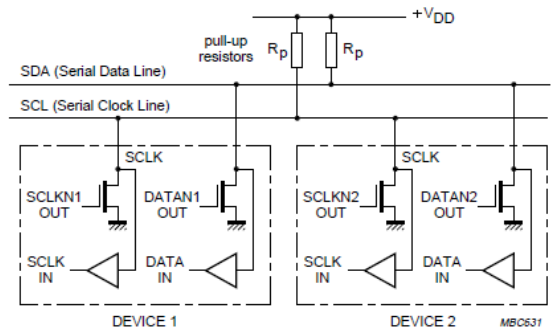
kendaraannya dalam kondisi duduk tegak lurus. Namun akibat dari menurunnya sistem fungsional tubuh, gerakan jatuh dari kepala pengemudi dan kembali ke posisi awal yang dilakukan secara tiba – tiba. Pergerakan kepala tersebut memiliki arah yang tidak menentu dan dari arah tersebut akan menghasilkan pola yang khusus. Contoh pola pergerakan kepala dari ciri pengemudi yang mengantuk dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Contoh Pola Pergerakan Kepala Dari Ciri Pengemudi Yang Mengantuk[5]

2.3 Inter Integrated Circuit (I²C)

Inter Integrated Circuit (I²C) merupakan salah satu jenis komunikasi serial *multipoint*. Sistem komunikasi I²C pertama kali diperkenalkan oleh Philips Semiconductor (NXP Semiconductor) pada tahun 1979. Konfigurasi sistem komunikasi I²C dapat dilihat pada Gambar 2.5

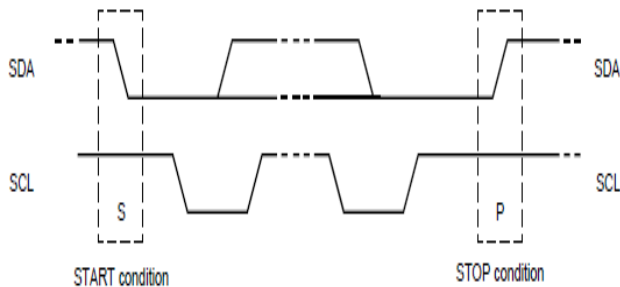


Gambar 2.5 Konfigurasi Sistem Komunikasi I²C[11]

Sistem komunikasi I²C hanya memerlukan dua jalur data, yaitu *Serial Data* (SDA) dan *Serial Clock* (SCL). SDA merupakan jalur yang digunakan untuk transmisi data, sedangkan SCL merupakan jalur yang digunakan sebagai sumber *clock* selama transmisi data. Dalam sistme komunikasi I²C terdapat istilah *transmitter*, *receiver*, *master*, dan *slave*[12]. *Transmitter* merupakan *device* yang bertugas untuk mengirim data melalui jalur bus I²C. *Receiver* merupakan *device* yang bertugas untuk menerima data yang diberikan melalui jalur bus I²C. *Master* merupakan *device* yang bertugas untuk membangkitkan sinyal *clock* serta memulai dan mengakhiri transfer data. *Slave* merupakan *device* yang bertugas sebagai penerima alamat atau diakses oleh *master*. Terdapat format khusus transfer data antara *master* dan *slave*. Jika dilihat dari format khusus tersebut, I²C dibedakan menjadi beberapa kondisi sinyal sebagai berikut.

1. Kondisi START dan STOP

Kondisi START merupakan sinyal untuk memulai semua perintah yang ditandai dengan perubahan tegangan SDA dari “1” menjadi “0” pada saat SCL bernilai “1”. Kondisi STOP merupakan sinyal untuk mrngakhiri semua perintah yang ditandai dengan perubahan tegangan SDA dari “0” menjadi “1” pada saat SCL bernilai “1”. Bentuk sinyal kondisi START dan STOP dapat dilihat pada *timing chart* pada Gambar 2.6

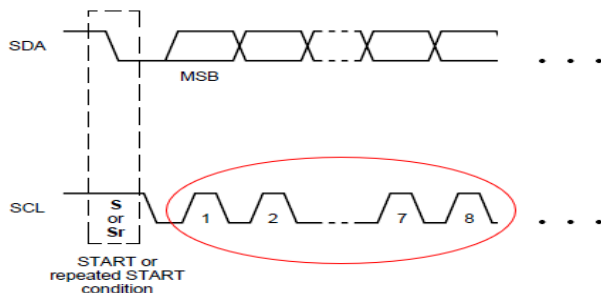


Gambar 2.6 Kondisi Sinyal START dan STOP[11]

2. Transmisi Data Antara *Master* dan *Slave*

Setelah kondisi START terjadi, *master* akan mengirimkan alamat *slave* yang akan diakses. Umumnya data yang dikirim sebesar 8

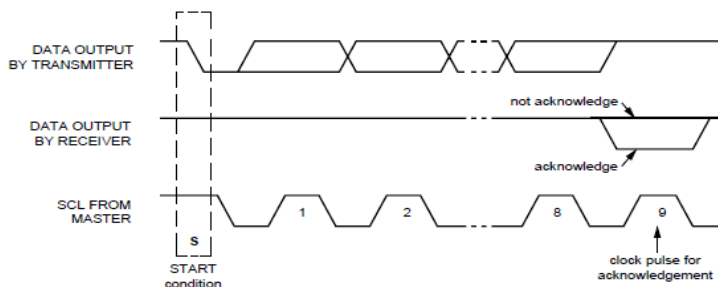
bit yang ditransmisikan melalui SDA. Data tersebut terbagi menjadi dua, yaitu 7 bit alamat slave dan 1 bit untuk memilih mode *read* (bernilai “1”) dan *write* (bernilai “0”). Bentuk sinyal transmisi data antara *master* dan *slave* dapat dilihat pada



Gambar 2.7 Sinyal Transmisi Data Antara Master Dan Slave[11]

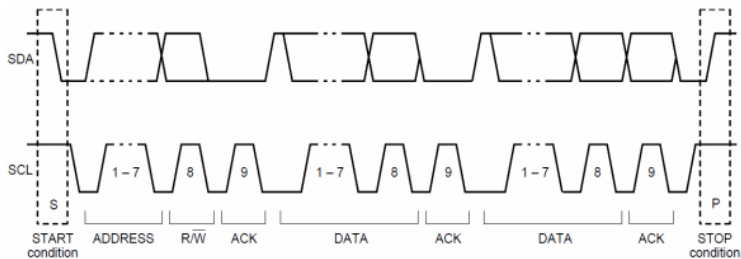
4. Acknowledge (ACK) dan Non-Acknowledge (NACK)

Sinyal ACK dan NACK merupakan respon sinyal yang diberikan oleh selama proses transmisi data antara *master* dan *slave*. Sinyal ACK ataupun NACK akan muncul pada bit ke 9 setelah transmisi data antara *master* dan *slave* terjadi. Kondisi ACK terjadi setelah transfer data oleh *master* berhasil diterima oleh *slave* kemudian *slave* akan merespon sinyal ACK, yaitu saat SDA bernilai “0” selama siklus clock ke 9. Jika *slave* tidak lagi menerima data yang dikirimkan oleh *master*, *slave* akan merespon sinyal NACK yang menggambarkan SDA saat bernilai “1”. Kondisi ACK dan NACK dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Kondisi ACK dan NACK[11]

Dari ketiga kondisi di atas, maka format pengiriman data I²C secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 2.9

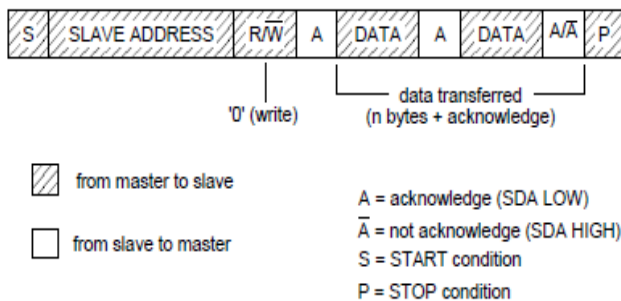


Gambar 2.9 Format Pengiriman Data I²C[11]

Dalam sistem komunikasi I²C terdapat dua jenis pengoperasian transfer data antara *master* dan *slave*. Dua jenis mode pengoperasian tersebut adalah sebagai berikut.

1. Master Transmitt Mode

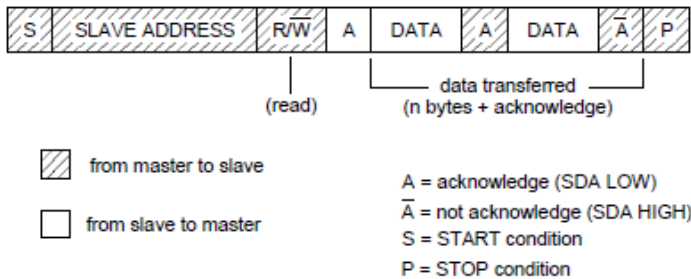
Dalam mode ini *master* akan menuliskan data pada *slave* yang dituju. *Master* akan mengirimkan *byte* pertama yang berisikan alamat *slave* atau *slave address*. *Slave* akan mengirim sinyal ACK sebagai respon dari alamat yang dikirimkan oleh *master*. Setelah itu *master* akan mengirimkan sejumlah *byte* data yang akan diikuti oleh sinyal ACK apabila *slave* telah menerima data yang dikirimkan. Seperti format pengiriman data I²C pada gambar 2.9, awal dan akhir pengiriman data selalu diawali dengan kondisi START dan STOP. Pengiriman data *master transmitt mode* dapat dilihat pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 Pengiriman Data Master Transmitt Mode[11]

2. Master Receive Mode

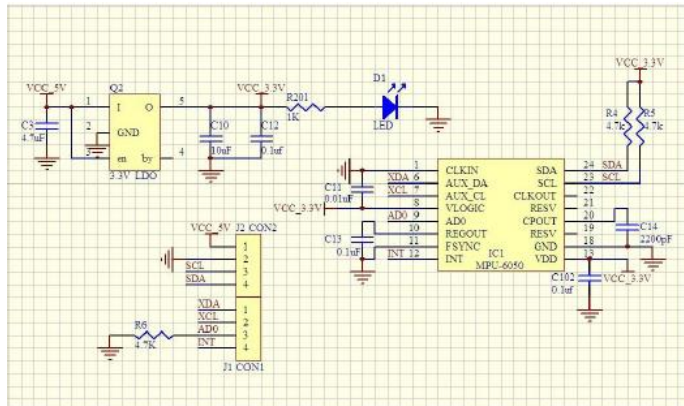
Dalam mode ini *master* bertindak sebagai *receiver* dari data yang dikirimkan oleh *slave*. *Master* mengirimkan alamat *slave* yang akan diakses dan diikuti sinyal ACK sebagai respon dari *slave*. Kemudian *slave* akan mengirimkan sejumlah data menuju *master*, setelah itu *master* akan memberikan sinyal ACK sebagai respon bahwa data telah diterima. Pada *byte* terakhir, *master* akan mengirimkan sinyal NACK dan diikuti dengan kondisi STOP. Pengiriman data *master receive mode* dapat dilihat pada



Gambar 2.11 Pengiriman Data Master Receive Mode[11]

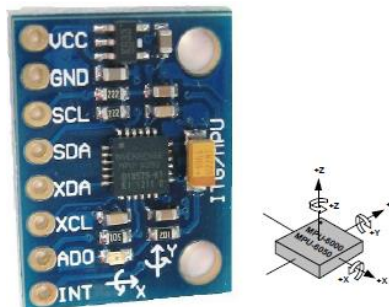
2.4 Sensor MPU-6050 GY-521

Sensor MPU-6050 GY-521 merupakan suatu modul sensor berbasis chip MPU 6050 yang diproduksi oleh perusahaan IvenSense[13]. Modul sensor MPU-6050 GY-521 terdiri dari dua buah sensor, yaitu 3 *axis accelerometer* dan 3 *axis gyroscope*. Modul sensor MPU-6050 GY-521 menggunakan teknologi *Micro Electro-Mechanical System* (MEMS), yaitu sistem integrasi dari struktur mekanik dan elektro-mekanikal yang diproduksi dengan teknik fabrikasi mikro[14]. Selain itu sensor MPU-6050 GY-521 memiliki fitur *Digital Motion Processor* (DMP) yang dapat memproses algoritma dari gerakan gabungan antara sensor *accelerometer* dan *gyroscope*. Sensor ini menggunakan komunikasi I²C dengan dua mode kecepatan pengiriman data, yaitu *Standard Mode* sebesar 100kHz dan *Fast Mode* sebesar 400kHz. Dalam modul sensor ini telah dilengkapi regulator 3.3 Volt dan tahanan *pull-up* pada pin SDA dan SCL. Selain itu, terdapat komponen – komponen pendukung pada modul ini untuk memudahkan penggunaan modul sensor ini. Skematik modul sensor MPU-6050 GY-521 dapat dilihat pada gambar Gambar 2.12



Gambar 2.12 Skematik Modul Sensor MPU-6050 GY-521[13]

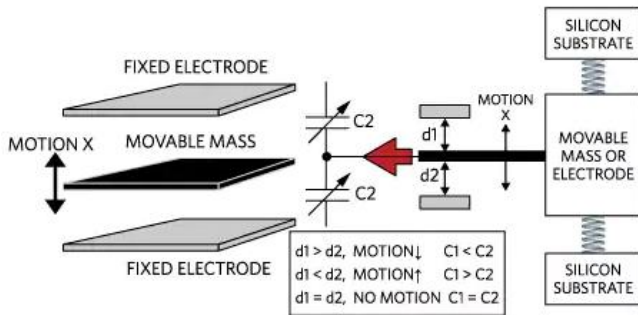
Modul Sensor MPU-6050 GY-521 terdiri dari 8 pin dengan masing – masing fungsi yang dimiliki. Pin tersebut antara lain VCC, GND, SCL, SDA, XDA, XCL, ADO, dan INT. Pin VCC dihubungkan dengan catu daya sebesar 3 Volt sampai dengan 5 Volt. Pin GND dihubungkan dengan referensi *ground* catu daya. Pin SDA dan SCL merupakan pin *Serial Data* dan *Serial Clock* komunikasi I²C. Pin XDA dan XCL merupakan pin *auxillary* komunikasi I²C. Pin INT digunakan untuk mengaktifkan mode *interrupt* untuk pengambilan data pembacaan sensor yang terdapat pada modul sensor MPU-6050 GY-521. Bentuk modul sensor MPU-6050 GY-521 beserta orientasi sumbu dapat dilihat pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 Modul Sensor MPU-6050 GY-521[13]

2.4.1 Accelerometer

Accelerometer digunakan untuk mengukur percepatan dari suatu benda yang bergerak, perubahan posisi, dan percepatan gravitasi bumi. Dasar pengukuran percepatan yang dilakukan oleh sensor *accelerometer* mengacu pada Hukum Newton ke dua. Suatu percepatan akan menimbulkan gaya yang akan ditangkap oleh mekanisme pendeteksi gaya yang dimiliki oleh sensor *accelerometer*. Besar percepatan dapat diukur secara tidak langsung dari besar gaya yang berhasil dideteksi. Struktur dari sensor *accelerometer* terdiri dari sebuah transduser kapasitif dan sebuah pegas penggerak yang dirancang dalam ukuran skala mikro. Contoh mekanisme cara kerja sensor *accelerometer* dalam satu sumbu dapat dilihat pada Gambar 2.14



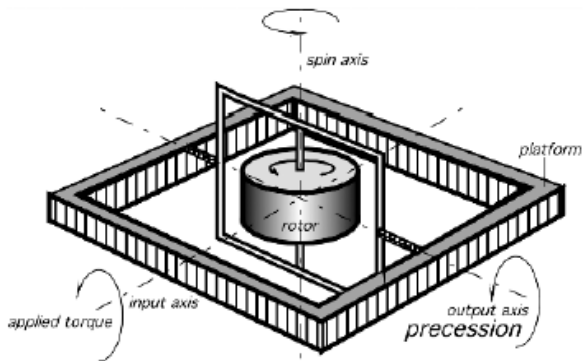
Gambar 2.14 Mekanisme Cara Kerja Sensor Accelerometer[15]

Sesuai dengan gambar di atas, pegas terhubung dengan beban penggerak dan substrat *silicon* yang tetap. Apabila terdapat suatu pergerakan searah dengan sumbu pegas, maka beban penggerak akan ikut bergerak searah dengan arah sumbu pergerakan. Efek dari pergerakan tersebut menyebabkan jarak antara plat sejajar kapasitor akan berubah dan besar kapasitansi juga akan berubah. Perubahan besar kapasitansi dari kapasitor inilah yang akan diolah menjadi nilai perubahan percepatan oleh sensor *accelerometer*. Sensor *accelerometer* akan mendeteksi gaya percepatan pada tiga sumbu, yaitu sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z berdasarkan pengaruh percepatan bumi. Percepatan gravitasi bumi diukur dalam satuan *g-force* (G), dimana 1G sama dengan $9,8 \text{ m/s}^2$. Fitur yang dimiliki oleh sensor *accelerometer* pada modul MPU-6050 GY-521 adalah sebagai berikut.

1. Keluaran digital dari setiap sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z dengan rentang yang dapat diprogram sebesar $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, dan $\pm 16g$.
2. Resolusi *Analog to Digital Converter* (ADC) sebesar 16 bit yang telah terintegrasi memungkinkan pengambilan data secara simultan tanpa menggunakan *multiplexer* eksternal.
3. Arus saat pengoperasian normal *accelerometer* sebesar 500 μ A.
4. Arsu saat pengoperasian *accelerometer* saat daya rendah sebesar 10 μ A saat 1.25Hz, 20 μ A saat 5Hz, 60 μ A saat 20Hz, 110 μ A saat 40Hz.
5. Mendeteksi orientasi dan sinyal.
6. Mendeteksi ketukan.
7. Interupsi *user-programmable*.
8. Interupsi *High-G*.
9. *User self-test*.

2.4.2 Gyroscope

Gyroscope merupakan sebuah sensor yang dapat digunakan untuk mengukur kecepatan sudut dari benda yang bergerak terhadap sumbu putar. *Gyroscope* akan menghasilkan sinyal yang nilainya sebanding dengan kecepatan sudut sekitar sumbu tegak lurus terhadap sumbu putar. Satuan kecepatan sudut akan diukur dengan satuan radian per detik (rad/s) atau dalam satuan derajat per detik ($^{\circ}$ /s). Struktur dari sensor gyroscope terdiri dari sistem elektro-mekanikal berupa piringan rotor yang terhubung dengan pegas yang berukuran mikro (MEMS). Ketika rotor berputar bebas, putaran rotor akan cenderung mempertahankan posisi aksial. Sebuah torsi akan dihasilkan pada sumbu *output* saat piringan rotor berputar disekitar sumbu *input*. Hal tersebut akan menghasilkan putaran disekitar sumbu *output*, peristiwa ini disebut kepresisian dari *gyroscope*. Fenomena tersebut berkaitan dengan Hukum Newton tentang gerak rotasi, yaitu tingkat waktu perubahan momentum sudut yang diberikan pada suatu sumbu sama dengan besar torsi yang diterapkan pada sumbu tersebut[14]. Menentukan arah presisi dapat dilakukan dengan menyelaraskan arah putaran piringan rotor dengan arah rotasi torsi yang diterapkan. Sitem elektro-mekanik dari *gyroscope* dapat dilihat pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 Sistem Elektro-Mekanik Dari Gyroscope[14]

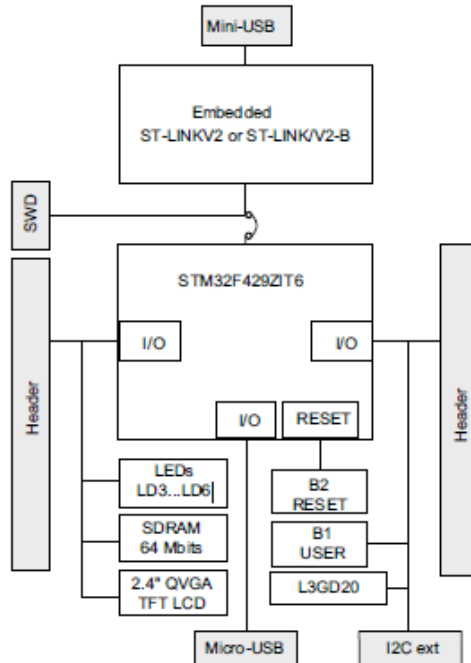
Gyroscope akan mendeteksi kecepatan sudut pada tiga sumbu, yaitu sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z. Fitur yang dimiliki oleh *gyroscope* pada modul MPU-6050 GY-521 adalah sebagai berikut.

1. Keluaran digital dari setiap sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z dengan rentang yang dapat diprogram sebesar $\pm 250^\circ/\text{s}$, $\pm 500^\circ/\text{s}$, $\pm 1000^\circ/\text{s}$, dan $\pm 2000^\circ/\text{s}$.
2. Sinyal sync eksternal yang terhubung dengan pin FSYNC mendukung gambar, video dan sinkronisasi GPS.
3. Resolusi Analog to Digital Converter (ADC) sebesar 16 bit yang telah terintegrasi memungkinkan pengambilan data secara simultan.
4. Peningkatan stabilitas bias dan sensitivitas suhu yang dapat mengurangi kebutuhan bagi pengguna kalibrasi.
5. Peningkatan kinerja noise frekuensi rendah.
6. *Digital-programmable low-pass filter*.
7. *Gyroscope* beroperasi pada arus 3.6mA.
8. *Standby* pada arus 5 μ A.
9. Telah terkalibrasi dengan faktor skala sensitivitas.
10. *User self-test*.

2.5 Mikrokontroler STM32F4 Discovery

STM32F4 *Discovery* merupakan mikrokontroler yang dikembangkan oleh STMicroelectronics yang berfungsi sebagai perangkat keras untuk mengatur, memproses, dan media interaktif yang terintegrasi dengan perangkat lunak dalam sebuah sistem. Dalam Tugas Akhir ini mikrokontroler yang akan digunakan adalah STM32F429I –

DISC1 yang merupakan pengembangan dari generasi sebelumnya, yaitu adalah STM32F429I – DISC0[16]. Blok diagram perangkat keras STM32F429I – DISC1 dapat dilihat pada Gambar 2.16



Gambar 2.16 Blok Diagram STM32F429I – DISC1[17]

STM32F429I – DISC1 menggunakan prosesor STM32F429ZIT6 dengan arsitektur ARM Cortex-M4 dengan kecepatan 180MHz yang memberikan performa tinggi pada saat pemrosesan sistem. Fitur lain yang dimiliki antara lain *flash memory* sebesar 2Mb dan RAM sebesar 256Kb. Selain itu, perangkat keras telah terintegrasi dengan ST-LINK/V2-B dengan USB mini konektor sebagai *debugger*[18]. Fungsi dari pin yang terdapat pada STM32F429I – DISC1 antara lain tiga *channel* ADC, satu *channel* DAC, tiga buah komunikasi I²C, 6 buah komunikasi SPI, komunikasi UART dan USART masing – masing empat buah, dan 14 *timer* dengan fungsi tertentu.

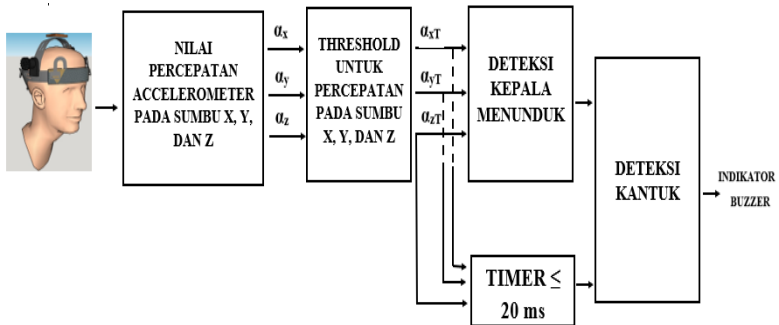
-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB III

PERANCANGAN SISTEM PERINGATAN DINI PADA PENGEMUDI YANG MENGANTUK

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan sistem peringatan dini menggunakan deteksi kemiringan kepala pada pengemudi kendaraan bermotor yang mengantuk, meliputi blok fungsional sistem yang akan menjelaskan proses kerja alat dalam bentuk alur diagram, perancangan mekanik yang membahas tentang desain dan pembuatan mekanik yang mendukung cara kerja alat, perancangan perangkat elektrik yang membahas perancangan rangkaian pendukung alat. Serta perancangan perangkat lunak untuk pengenalan kondisi kantuk.

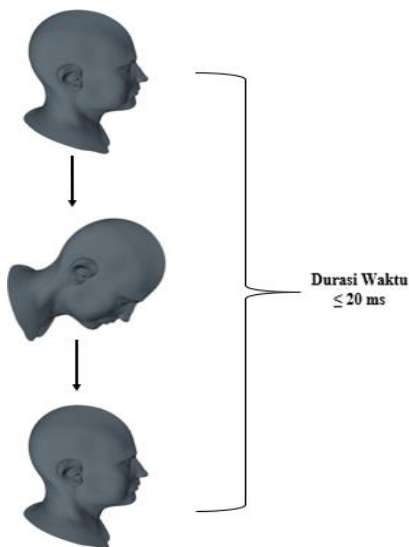
3.1 Blok Fungsional Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk



Gambar 3.1 Diagram Blok Fungsional Sistem

Secara keseluruhan alur kerja sistem pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 yang dirancang agar dapat mendeteksi pola perubahan posisi kepala pengemudi yang mengantuk. Pergerakan kepala pengemudi yang mengantuk merupakan suatu data yang diperoleh melalui proses identifikasi karakteristik seseorang dalam kondisi mengantuk dengan melihat perubahan drastis dari nilai percepatan pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z sensor *accelerometer* MPU-6050 GY-521. Sensor *accelerometer* MPU-6050 GY-521 akan mendeteksi perubahan posisi kepala yang terjadi secara tiba – tiba, yaitu durasi waktu perubahan posisi kepala mulai dari proses awal kepala menunduk sampai kembali ke posisi awal adalah kurang dari sama dengan 20ms sesuai

dengan ilustrasi pada Gambar 3.2. Sensor terhubung dengan mikrokontroller STM32F429I-DISC1 menggunakan komunikasi I²C. Data yang diterima oleh mikrokontroller berupa data mentah (*raw data*) nilai percepatan dari pembacaan sensor *accelerometer* pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z yang ditampilkan dalam satuan *g-force*. Data tersebut akan dibandingkan dengan nilai ambang pada setiap sumbu untuk mendeteksi kondisi dari pengemudi. Apabila sistem dapat mengenali bahwa pergerakan tersebut merupakan pola pergerakan kepala seseorang yang mengantuk, maka indikator alarm akan aktif sebagai tanda peringatan agar pengemudi dapat kembali fokus atau beristirahat terlebih dahulu.



Gambar 3.2 Ilustrasi Pergerakan Kepala Orang Mengantuk

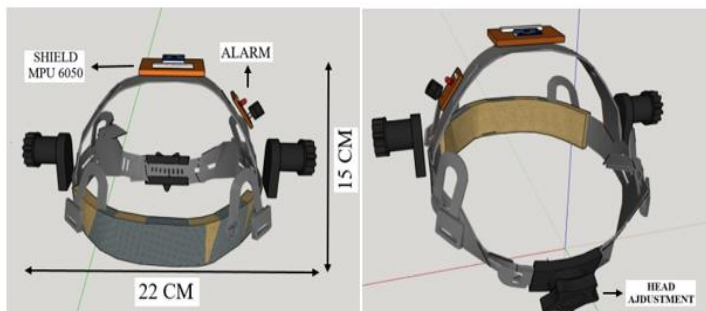
3.2 Spesifikasi Alat

Dalam perancangan Tugas Akhir ini, kontroler yang digunakan adalah STM32F429I-DISC1 dengan spesifikasi RAM sebesar 256Kb dan *flash memory* sebesar 2Mb. Prosesor STM32F429I-DISC1 berbasis ARM Cortex-M4 dengan kecepatan 180MHz yang memberikan performa tinggi pada saat pemrosesan sistem. Fungsi dari pin yang terdapat pada STM32F429I – DISC1 antara lain tiga *channel* ADC, satu *channel* DAC, tiga buah komunikasi I²C, 6 buah komunikasi SPI, komunikasi UART

dan USART masing – masing empat buah, dan 14 *timer* dengan fungsi tertentu. Sedangkan sensor yang digunakan adalah sensor *acceleormeter* yang terdapat pada modul MPU-6050 GY-521 dengan spesifikasi keluaran digital dari setiap sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z dengan rentang yang dapat diprogram sebesar $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, dan $\pm 16g$. Resolusi Analog to Digital Converter (ADC) sebesar 16 bit yang telah terintegrasi memungkinkan pengambilan data secara simultan tanpa menggunakan multiplexer eksternal. Sumber daya yang digunakan adalah baterai lipo tiga sel dengan besar tegangan 11.1 Volt yang dihubungkan dengan modul *step down converter* LM2596 untuk menurunkan tegangan baterai lipo menjadi 5 Volt. Keluaran dari modul *step down converter* LM2596 sebesar 5 Volt yang dihubungkan dengan pin 5V STM32F429I-DISC1.

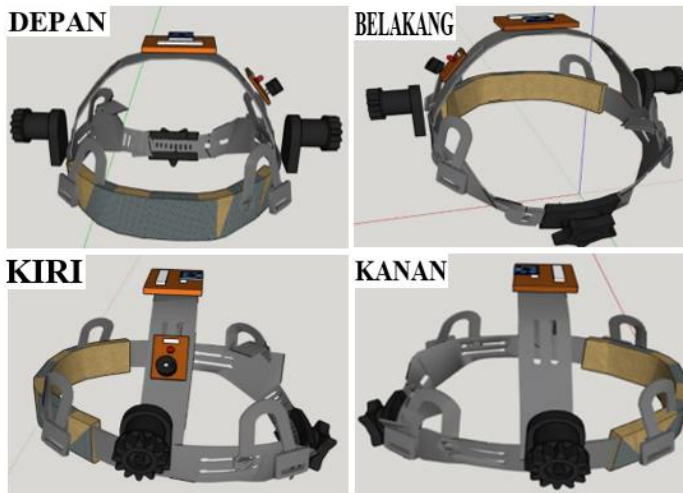
3.3 Perancangan *Headgear* Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk

Perancangan mekanik dari Tugas Akhir ini meliputi desain dan realisasi dari *headgear* yang digunakan untuk peletakan sensor MPU-6050 GY-521 dan alarm. *Headgear* dirancang *wearable* dan akan dikenakan di kepala pengemudi untuk mendeteksi perubahan posisi kepala pengemudi saat kondisi mengantuk. Desain *headgear* yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Desain *Headgear*

Headgear memiliki dimensi 22cm x 15cm dan dilengkapi dengan *knob* pada bagian belakang sebagai *adjustment* untuk menyesuaikan dengan ukuran kepala pengemudi. Bahan yang digunakan untuk *headgear* adalah *Polypropylene* (PP) yang bersifat kuat dan ringan, sehingga lebih nyaman saat digunakan. Secara keseluruhan, desain *headgear* jika dilihat dari berbagai sudut pandang dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Desain *Headgear* Jika Dilihat Dari Berbagai Sudut Pandang

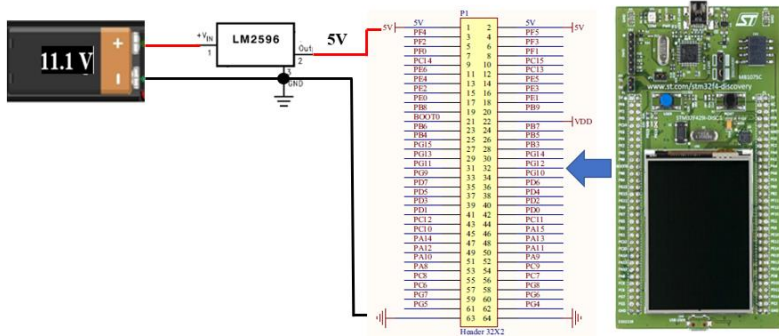
3.4 Perancangan Perangkat Elektrik Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk

Perancangan perangkat elektrik meliputi proses pemberian sumber daya pada sistem, yaitu untuk mikrokontroler STM32F429I-DISC1 dan sensor MPU-6050 GY-521. Selain itu terdapat perancangan *shield* untuk mikrokontroler STM32F429I-DISC1, sensor MPU-6050 GY-521, rangkaian alarm indikator kantuk, beserta sambungan masukan dan keluaran yang digunakan pada Tugas Akhir ini.

Perancangan Sumber Daya

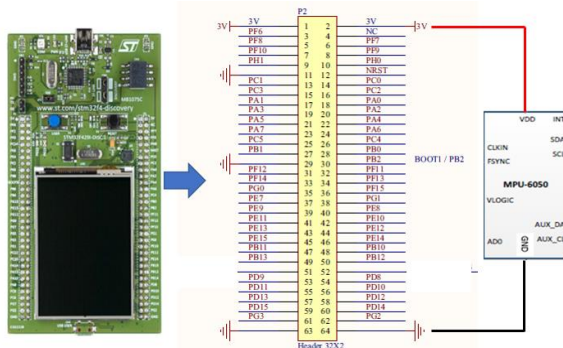
Perancangan sumber daya meliputi proses pemberian tegangan yang digunakan oleh mikrokontroler STM32F429I-DISC1 dan sensor MPU-6050 GY-521. Sumber daya untuk mikrokontroler STM32F429I-DISC1 menggunakan baterai lipo tiga sel dengan tegangan sebesar 11.1 Volt. Mikrokontroler STM32F429I-DISC1 hanya mampu menerima tegangan masukan maksimal sebesar 5 Volt. Tegangan baterai diturunkan sebesar 5 Volt menggunakan modul LM2596 *step down converter*. Kutub positif baterai lipo dihubungkan dengan masukan positif dari modul *step down converter* dan kutub negatif dihubungkan dengan masukan negatif modul *step down converter*. Kemudian atur tegangan keluaran sebesar 5 Volt

dengan cara memutar *knob* resistor variabel pada modul *step down converter*. Keluaran positif modul *step down converter* dihubungkan dengan pin 5 Volt STM32F429I-DISC1 sedangkan keluaran negatif modul *step down converter* dihubungkan dengan pin *ground* STM32F429I-DISC1. Koneksi antara baterai lipo, modul *step down converter*, dan mikrokontroler STM32F429I-DISC1 dapat dilihat pada Gambar 3.5



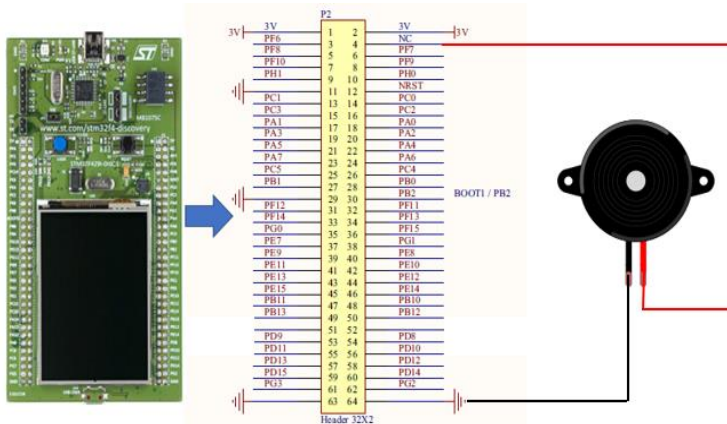
Gambar 3.5 Koneksi Sumber Daya Untuk STM32F429I-DISC1

Sensor MPU-6050 GY-521 dapat menerima tegangan masukan sebesar 2.4 – 3.5 Volt. Pada Tugas Akhir ini, sensor MPU-6050 GY-521 terhubung dengan pin 3 Volt STM32F429I-DISC1 yang digunakan sebagai sumber daya. Koneksi antara sensor MPU-6050 GY-521 dan pin 3 Volt STM32F429I-DISC1 dapat dilihat pada Gambar 3.6



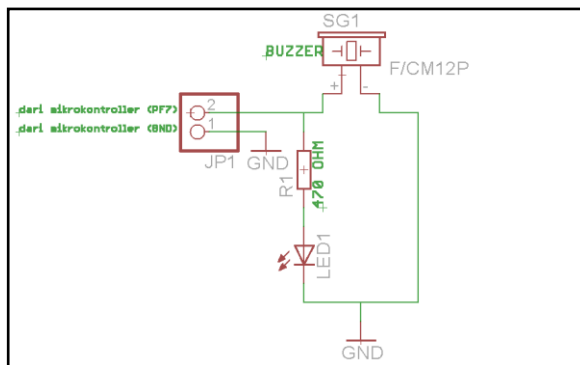
Gambar 3.6 Koneksi Sumber Daya Untuk Sensor MPU-6050 GY-521

3.4.2 Perancangan Rangkaian Alarm Indikator Kantuk



Gambar 3.7 Pengkabelan *Buzzer* Dengan Pin STM32F429I-DISC1

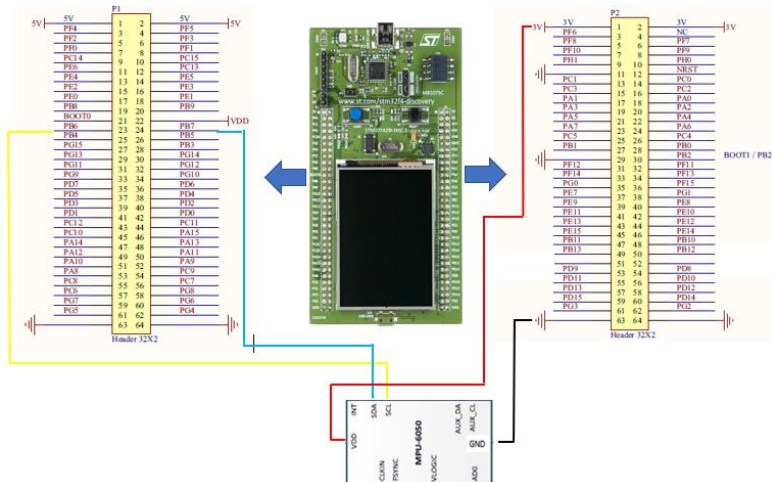
Konfigurasi antara *buzzer* yang digunakan sebagai alarm indikator kantuk dengan pin STM32F429I – DISC1 dapat dilihat pada Gambar 3.7. Rangkaian *buzzer* dilengkapi dengan sebuah LED berukuran 5mm yang akan aktif mengikuti *buzzer*. LED dan buzzer dirangkai secara paralel dan terhubung dengan konektor dua pin yang terletak dalam satu blok rangkaian. Konektor dua pin terhubung dengan pin PF7 dan GND mikrokontroller STM32F429I – DISC1. Skematik rangkaian alarm indikator kantuk didesain menggunakan *software* Eagle 7.1.0 dengan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 Desain Skematik Rangkaian Alarm Indikator Kantuk

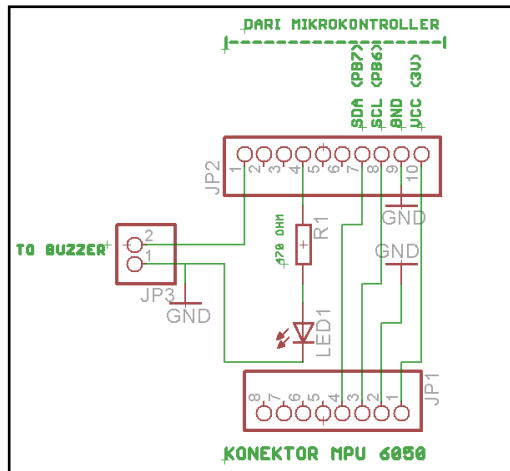
3.4.3 Perancangan *Shield* Sensor MPU-6050 GY-521

Shield sensor MPU-6050 GY-521 digunakan sebagai tempat peletakan sensor MPU-6050 GY-521 pada *head gear*. Terdapat konektor masukan dan keluaran yang terhubung dengan mikrokontroler STM32F429I-DISC1. Pengkabelan pin sensor MPU-6050 GY-521 dengan pin mikrokontroler STM32F429I-DISC1 antara lain, pin VCC sensor terhubung dengan pin 3 Volt mikrokontroler, pin GND sensor terhubung dengan pin GND mikrokontroler, pin SCL (*Serial Clock*) sensor terhubung dengan pin PB6 mikrokontroler, dan pin SDA (*Serial Data*) sensor terhubung dengan mikrokontroler. Konfigurasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Pengkabelan Sensor MPU-6050 GY-521 Dengan Pin STM32F429I-DISC1

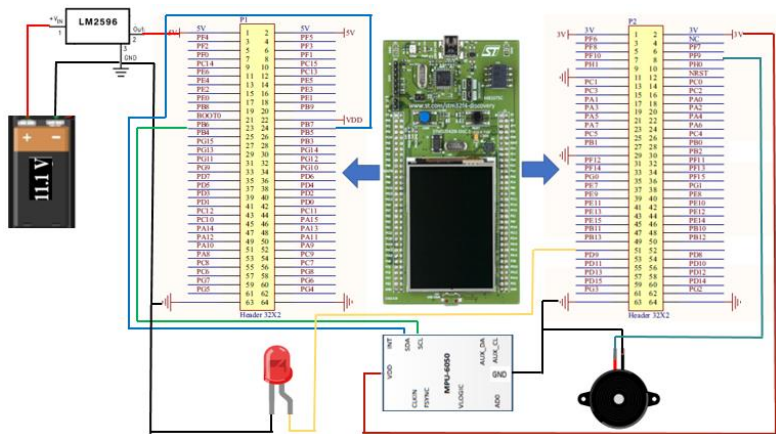
Shield sensor MPU-6050 GY-521 terdiri dari konektor delapan pin yang digunakan untuk meletakkan sensor MPU-6050 GY-521, konektor 10 pin yang terhubung dengan pin mikrokontroler sesuai dengan Gambar 3.9, dan konektor dua pin yang terhubung dengan rangkaian alarm (*buzzer*). Selain itu, *shield* sensor MPU-6050 GY-521 dilengkapi dengan LED berukuran 5 mm sebagai indikator komunikasi I2C antara sensor MPU-6050 GY-521 dan mikrokontroler STM32F429I – DISC1 telah aktif. Skematik *shield* sensor MPU-6050 GY-521 didesain menggunakan *software* EAGLE 7.1.0 dengan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Desain Skematik *Shield* Sensor MPU-6050 GY-521

Perancangan Konfigurasi Keseluruhan Sistem Elektrik

Konfigurasi keseluruhan sistem elektrik merupakan proses pengkabelan seluruh perangkat elektrik yang digunakan pada Tugas Akhir ini, mulai dari sambungan antara sistem sumber daya yang digunakan dengan mikrokontroller dan sambungan antara mikrokontroller dengan masukan dan keluaran. Sesuai dengan pembahasan pada sub bab sebelumnya bahwa mikrokontroller STM32F429I – DISC1 mendapatkan input tegangan dari baterai lipo. Tegangan 11.1 Volt dari baterai lipo diturunkan menjadi 5 Volt menggunakan modul LM2596 *step down converter* dan di sambungkan pada pin 5 Volt STM32F429I – DISC1. Sensor MPU-6050 GY-521 sebagai masukan terhubung dengan STM32F429I – DISC1 melalui komunikasi I²C. Pin SCL (*Serial Clock*) terhubung dengan pin PB6 sedangkan pin SDA (*Serial Data*) terhubung dengan pin PB7. Sensor MPU-6050 GY-521 menerima sumber daya dari pin 3 Volt STM32F429I – DISC1. LED berukuran 5 mm digunakan sebagai indikator komunikasi I²C antara MPU-6050 GY-521 dengan STM32F429I – DISC1. Apabila komunikasi I²C aktif, maka LED akan aktif. Keluaran dari STM32F429I – DISC1 berupa *buzzer* sebagai alarm indikator kantuk yang terhubung dengan pin PF7. Konfigurasi keseluruhan sistem elektrik dapat dilihat pada Gambar 3.11



Gambar 3.11 Konfigurasi Keseluruhan Sistem Elektrik

3.5 Perancangan Perangkat Lunak Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk

Perancangan perangkat lunak berupa perancangan algoritma program dari sistem peringatan dini untuk pengemudi yang mengantuk berdasarkan pengenalan pola perubahan posisi kepala. Perancangan perangkat lunak yang dibutuhkan adalah algoritma proses pengambilan data percepatan menggunakan sensor *accelerometer* yang terdapat pada MPU-6050 GY-521, proses *training* untuk mendapatkan fitur kondisi kantuk, dan rekognisi kondisi pengemudi.

■ Pengambilan Data Sensor *Accelerometer*

Proses pengambilan data sensor *accelerometer* pada modul MPU-6050 GY-521 terdiri dari beberapa tahapan, yaitu akses alamat dari MPU-6050 GY-521 sebagai *slave address*, pengkondisian MPU-6050 GY-521, konfigurasi sensor *accelerometer*, dan proses pembacaan nilai percepatan dari sensor *accelerometer*. STM32F429I – DISC1 sebagai *master* mengirim 8 bit alamat MPU-6050 GY-521 sebagai *slave* agar dapat mengakses data dari sensor MPU-6050 GY-521. Alamat *slave* dari MPU-6050 GY-521 adalah ‘0xD0’ dalam bentuk hexadesimal atau ‘11010000’ dalam bentuk biner. Kondisi awal sensor MPU-6050 GY-521 berada dalam keadaan *sleep mode*. Sensor MPU-6050 GY-521 harus dikondisikan dalam *wake up mode* dengan mengakses register 6B dan

mengirim data ‘0x00’ sebesar 8 bit. Akses dan pengiriman data pada register 6B dapat dilihat pada Gambar 3.12

Register (Hex)	Register (Decimal)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
6B	107	DEVICE_RESET	SLEEP	CYCLE	-	TEMP_DIS	CLKSEL[2:0]		
		0	0	0	0	0	0	0	0

Gambar 3.12 Pengiriman Data Pada Register 6B

MPU-6050 GY-521 mempunyai fitur *Digital Low Pass Filter* (DLPF) yang dapat diaktifkan dengan cara mengakses register 1A. Konfigurasi DLPF dilakukan dengan cara memberi nilai pada bagian DLPF_CFG (Bit0, Bit1, dan Bit3) pada register 1A. Konfigurasi DLPF dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Konfigurasi Digital Low Pass Filter (DLPF)

DLPF_CFG (Desimal)	Accelerometer (Fs = 1 KHz)	
	Bandwith (Hz)	Delay (ms)
0	260	0
1	184	2.0
2	94	3.0
3	44	4.9
4	21	8.5
5	10	13.8
6	5	19.0
7	RESERVED	

Pada perancangan kali ini, *Digital Low Pass Filter* (DLPF) untuk pengambilan data percepatan *accelerometer* menggunakan konfigurasi ke-3 dengan *bandwidth* sebesar 44Hz, *delay* 4.9 ms, dan Frekuensi sampling (Fs) sebesar 1KHz. Apabila *Digital Low Pass Filter* (DLPF) diaktifkan, maka *noise* dari pembacaan nilai percrpatan pada tiap sumbu akan berkurang. Proses pemberian nilai register 1A untuk konfigurasi *Digital Low Pass Filter* (DLPF) dapat dilihat pada Gambar 3.13

Register (Hex)	Register (Decimal)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
1A	26	-	-	EXT_SYNC_SET[2:0]			DLPF_CFG[2:0]		
		0	0	0	0	0	0	1	1

Gambar 3.13 Konfigurasi DLPF Pada Register 1A

Proses selanjutnya adalah pengkondisian sensor *accelerometer* dengan cara mengakses register 1C. Proses ini bertujuan untuk mengatur rentang skala penuh (*full scale range*) dari pembacaan sensor *accelerometer*. Dalam hal ini rentang skala penuh dari sensor *accelerometer* diatur sebesar $\pm 2g$ dengan cara memberi nilai '0' pada bit ke 3 dan 4 register 1C. Pengiriman data pada register 1C dapat dilihat pada Gambar 3.14

Register (Hex)	Register (Decimal)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
1C	28	XA_ST	YA_ST	ZA_ST	AFS_SEL[1:0]		-		
		0	0	0	0	0	0	0	0

Gambar 3.14 Pengiriman Data Pada Register 1C

Selanjutnya adalah proses untuk pembacaan data yang dikirimkan oleh sensor *accelerometer*. Mikrokontroler menerima data (*receive*) dari register 3B sampai 40. Data yang dikirimkan sebesar 8 bit dari register 3B (ACCEL_XOUT_H) atau data MSB (*Most Significant Bit*) dari sumbu X, register 3C (ACCEL_XOUT_L) atau data LSB (*Least Significant Bit*), register 3D (ACCEL_YOUT_H) atau data MSB (*Most Significant Bit*) dari sumbu Y, register 3E (ACCEL_YOUT_L) atau data LSB (*Least Significant Bit*) dari sumbu Y, register 3F (ACCEL_ZOUT_H) atau data MSB (*Most Significant Bit*) dari sumbu Z, register 40 (ACCEL_ZOUT_L) atau data LSB (*Least Significant Bit*) dari sumbu Z. Data dari keenam register tersebut dikonversi menjadi data sebesar 16 bit (MSB dan LSB) untuk setiap sumbu X, Y, dan Z. Selanjutnya data tersebut dirubah menjadi nilai percepatan dengan cara mengalikan dengan nilai sensitivitas *accelerometer* dengan data digital sebesar 16 bit dari setiap sumbu. Setiap konfigurasi rentang skala penuh (*full scale*) dari *accelerometer* memiliki nilai sensitivitas LSB yang berbeda – beda. Nilia sensitivitas LSB dari setiap konfigurasi rentang skala penuh *accelerometer* dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Nilai Sensitivitas LSB *Accelerometer*

AFS_SEL	Full Scale Range	LSB Sensitivity (LSB/g)
0	$\pm 2g$	16384
1	$\pm 4g$	8192
2	$\pm 8g$	4096
3	$\pm 16g$	2048

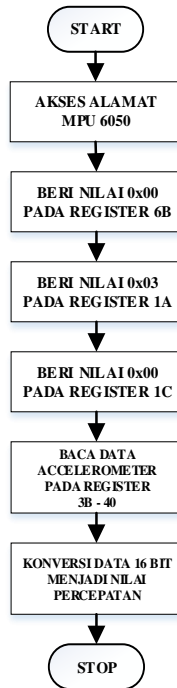
Dalam perancangan pengambilan data *accelerometer* diatur dalam kondisi *full scale range* sebesar $\pm 2g$. Oleh karena itu pembacaan data *accelerometer* memiliki sensitivitas sebesar 16384 LSB/g. Untuk mendapatkan nilai percepatan dari tiap sumbu X, Y, dan Z dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\alpha x = \text{Data X (16 bit)} \times \frac{1}{16384} \quad (1)$$

$$\alpha y = \text{Data Y (16 bit)} \times \frac{1}{16384} \quad (2)$$

$$\alpha z = \text{Data Z (16 bit)} \times \frac{1}{16384} \quad (3)$$

Nilai percepatan untuk sumbu X (αx), sumbu Y (αy), dan sumbu Z (αz) ditampilkan dalam satuan *g-force* (g) Secara keseluruhan proses pengambilan data percepatan sensor *accelerometer* MPU-6050 GY-521 disajikan pada diagram alur seperti pada Gambar 3.15

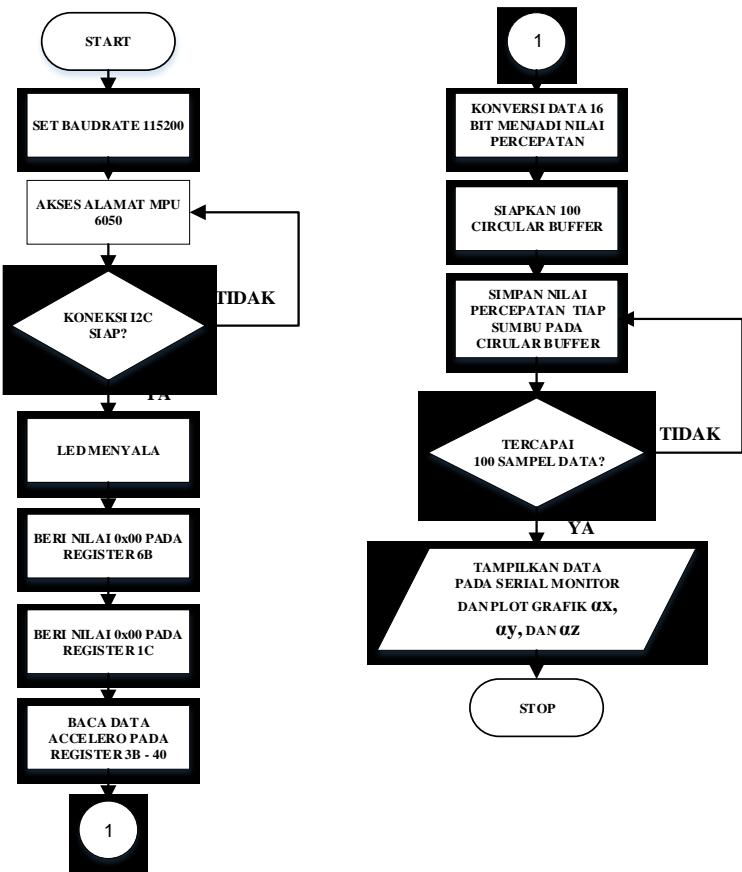


Gambar 3.15 Diagram Alir Pengambilan Nilai Percepatan *Accelerometer*

3.5.2 Proses Monitoring Posisi Kepala

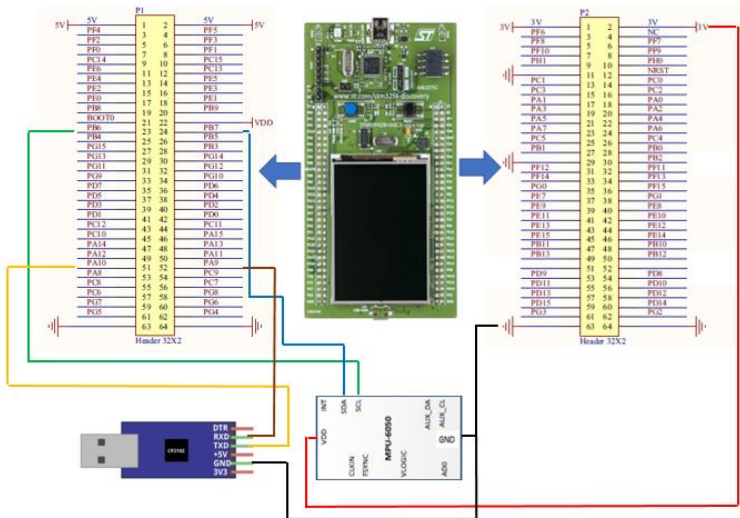
Proses monitoring posisi kepala dilakukan untuk mengetahui hasil pembacaan sensor *accelerometer* dengan kondisi perubahan posisi kepala yang terjadi. Posisi kepala yang dimonitoring adalah pada saat kondisi normal atau ketika tidak ada perubahan posisi kepala, dan kondisi pada saat terjadi perubahan posisi kepala yang terjadi secara tiba – tiba. Nilai pembacaan *accelerometer* pada saat terjadi perubahan posisi kepala yang terjadi secara tiba – tiba akan dijadikan fitur untuk mendeteksi kondisi dari pengemudi. Fitur merupakan sebuah karakteristik yang menggambarkan kondisi dari suatu keadaan. Dalam hal ini fitur menggambarkan karakteristik orang dalam kondisi kantuk dengan perilaku perubahan posisi kepala yang berubah secara tiba – tiba. Proses ekstraksi fitur bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik orang dalam

kondisi kantuk dengan melihat perubahan drastis dari nilai percepatan pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z. Dari proses tersebut dapat diambil analisa untuk menentukan nilai ambang (*threshold*) untuk sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z yang menggambarkan kondisi pengemudi saat mengantuk. Proses monitoring posisi kepala disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.16.



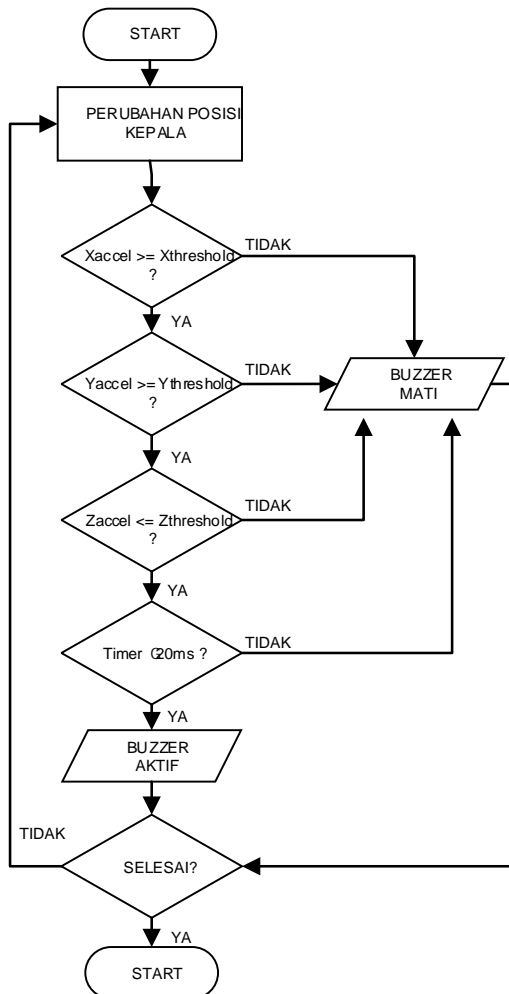
Gambar 3.16 Diagram Alir Monitoring Posisi Kepala

Data nilai percepatan yang telah diterima oleh STM32F429I – DISC1 dikirim menuju sebuah *software* pengolahan data menggunakan komunikasi serial. *Software* pengolahan data menggunakan MATLAB 2016 yang terhubung dengan komputer pengolah data. Koneksi antara STM32F429I – DISC1 dan komputer menggunakan USB TTL dengan menyambungkan pin TX dengan pin PA10 (RX) dari STM32F429I – DISC1 dan RX dengan pin PA9 (TX) dari STM32F429I – DISC1. *Baudrate* pengiriman nilai percepatan sensor *accelerometer* diatur sebesar 115200. Setelah itu disediakan sebuah *buffer* untuk menyimpan data dari ketiga sumbu sensor *accelerometer*. Nilai yang disimpan dalam *buffer* akan dianalisa apakah terjadi perubahan drastis yang terjadi pada ketiga sumbu sensor *accelerometer* pada saat terjadi pada orang yang mengantuk dengan ciri perubahan posisi kepala secara tiba – tiba. Nilai perubahan yang terjadi secara drastis tersebut akan dijadikan sebagai fitur perubahan posisi kepala bagi orang yang mengantuk dan disimpan dalam *buffer* yang telah disediakan. Apabila *buffer* telah terisi penuh, program akan memerintahkan untuk menggambarkan grafik ketiga sumbu sensor *accelerometer* menggunakan MATLAB 2016 untuk dianalisa. Koneksi antara STM32F429I – DISC1 dan USB TTL dapat dilihat pada Gambar 3.17



Gambar 3.17 Koneksi Antara STM32F429I – DISC1 Dan USB TTL

3.5.3 Proses Deteksi Kondisi Kantuk Pada Pengemudi



Gambar 3.18 Diagram Alir Fase Pengenalan Kondisi Kantuk Pengemudi

Data yang diperoleh dari monitoring posisi kepala digunakan untuk mengidentifikasi kondisi kantuk yang dialami oleh pengemudi. Kondisi kantuk dikenali apabila terdapat perubahan yang terjadi secara drastis

secara serentak pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z. Nilai ambang (*threshold*) diberikan pada tiap sumbu dan digunakan untuk mendeteksi kantuk dari hasil identifikasi perubahan nilai serentak yang terjadi pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z. Apabila pola pergerakan kepala dari pengemudi memenuhi kondisi dari nilai ambang yang diberikan, maka pengemudi tersebut terdeteksi sedang dalam kondisi kantuk. Apabila tidak memenuhi kondisi dari nilai ambang yang diberikan, maka pergerakan kepala kepala dari pengemudi tidak identik dengan pergerakan kepala orang yang mengantuk. Ketika pengemudi terdeteksi dalam kondisi mengantuk, maka indikator *buzzer* akan menyala sebagai peringatan terhadap pengemudi. Diagram alir fase pengenalan kondisi kantuk pengemudi dapat dilihat pada Gambar 3.18

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

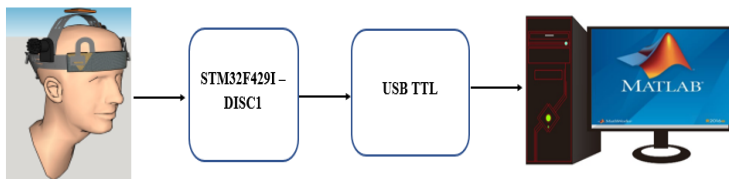
BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM PERINGATAN DINI PADA PENGEMUDI YANG MENGANTUK

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian sistem peringatan dini menggunakan deteksi kemiringan kepala pada pengemudi kendaraan bermotor yang mengantuk. Pengujian terdiri dari proses pengambilan data nilai percepatan dari sensor *accelerometer*, proses ekstraksi fitur untuk mengidentifikasi karakteristik orang dalam kondisi mengantuk, proses pengenalan kondisi kantuk pada pengemudi, dan pengujian keseluruhan sistem. Pengolahan data dan simulasi dilakukan menggunakan *software* MATLAB 2016.

4.1 Pengujian Pengambilan Data *Accelerometer* Untuk Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk

Pengambilan data percepatan dari sensor *accelerometer* dilakukan pada saat kepala dalam keadaan diam. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai percepatan dari sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z pada saat pengemudi dalam kondisi normal atau tidak ada perubahan posisi kepala yang terjadi secara tiba – tiba yang diartikan sebagai kondisi kantuk. Sensor *accelerometer* akan mengirimkan data dari setiap sumbu sebesar 16 bit. Data tersebut akan diolah oleh mikrokontroller untuk dirubah menjadi nilai percepatan dengan satuan *g-force* (g). Data nilai percepatan dikirim menuju ke sebuah komputer menggunakan komunikasi serial USB TTL untuk ditampung dalam MATLAB 2016 sebagai *software* pengolah data. Diagram blok pengujian pengambilan data sensor *accelerometer* dapat dilihat Gambar 4.1



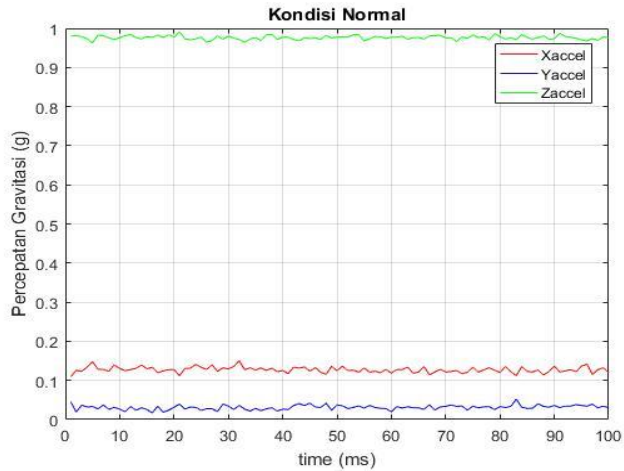
Gambar 4.1 Diagram Blok Pengujian Pengambilan Data *Accelerometer*

Hasil pengambilan data *accelerometer* saat pengemudi dalam kondisi normal tanpa proses *Digital Low Pass Filter* (DLPF) dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data *Accelerometer* Saat Pengemudi Dalam Kondisi Normal Tanpa Proses *Digital Low Pass Filter* (DLPF)

Time (ms)	α_x (g)	α_y (g)	α_z (g)	Keterangan
1	0,109619	0,044922	0,980469	Kepala Diam
2	0,125732	0,019043	0,981445	Kepala Diam
3	0,123535	0,036621	0,979004	Kepala Diam
4	0,133789	0,031982	0,973145	Kepala Diam
5	0,147949	0,033203	0,962891	Kepala Diam
6	0,128418	0,027344	0,983154	Kepala Diam
7	0,128174	0,037109	0,980957	Kepala Diam
8	0,123291	0,025879	0,975586	Kepala Diam

Dari hasil pengujian sensor *accelerometer* diketahui bahwa pada saat dalam kondisi normal atau tidak ada perubahan posisi kepala yang terjadi secara tiba – tiba, nilai percepatan untuk sumbu X berkisar 0.1g, sumbu Y berkisar 0.03g, dan untuk sumbu Z berkisar 0.98g. Terdapat 100 sampel data untuk masing – masing sumbu yang ditampung, sesuai dengan besar *buffer* yang disediakan untuk menyimpan data tersebut. Data pengujian *accelerometer* secara keseluruhan dapat dilihat pada bagian lampiran laporan Tugas Akhir dan disajikan dalam bentuk grafik MATLAB pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik Data Accelerometer Saat Kepala Diam

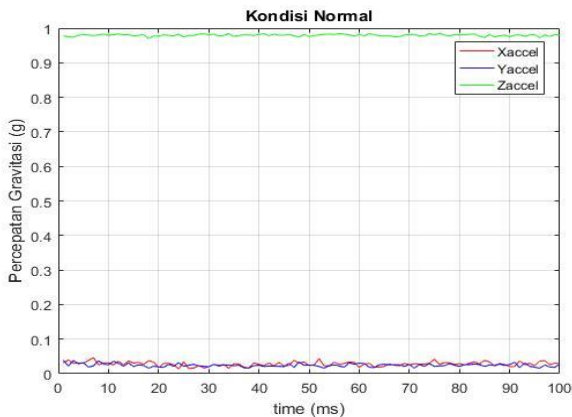
Hasil pengambilan data *accelerometer* saat pengemudi dalam kondisi normal dengan konfigurasi *Digital Low Pass Filter* (DLPF) disajikan dalam Tabel 4.2

Tabel 4.2 Data Accelerometer Dengan Konfigurasi *Digital Low Pass Filter* (DLPF)

Time (ms)	α_x (g)	α_y (g)	α_z (g)	Keterangan
1	0,031372	0,039185	0,978149	Kepala Diam
2	0,039795	0,021973	0,975098	Kepala Diam
3	0,029907	0,03833	0,973877	Kepala Diam
4	0,031006	0,028564	0,979248	Kepala Diam
5	0,030151	0,032227	0,981323	Kepala Diam
6	0,038452	0,018921	0,980225	Kepala Diam

7	0,046387	0,022583	0,97876	Kepala Diam
8	0,025513	0,037354	0,980469	Kepala Diam

Dari hasil pengujian sensor *accelerometer* dengan konfigurasi DLDPF diketahui bahwa pada saat dalam kondisi normal atau tidak ada perubahan posisi kepala yang terjadi secara tiba – tiba, nilai percepatan untuk sumbu X berkisar 0.03g, sumbu Y berkisar 0.03g, dan untuk sumbu Z berkisar 0.98g. Terdapat 100 sampel data untuk masing – masing sumbu yang ditampung, sesuai dengan besar *buffer* yang disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik *Accelerometer* Dengan DLDPF Saat Kepala Diam

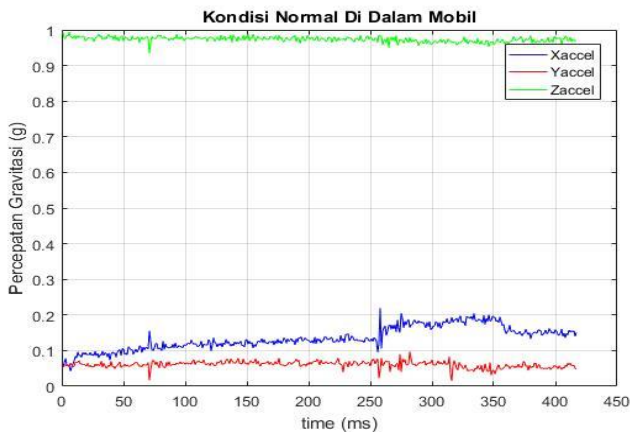
Data tersebut merupakan pengujian yang dilakukan di luar mobil. Untuk data kondisi normal pengujian di dalam mobil dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Data *Accelerometer* Kondisi Normal Di Dalam Mobil

Time (ms)	α_x (g)	α_y (g)	α_z (g)	Keterangan
1	0,056152	0,052734	0,993408	Kepala Diam

2	0,06543	0,05957	0,976563	Kepala Diam
3	0,078125	0,059326	0,97583	Kepala Diam
4	0,060547	0,057373	0,984619	Kepala Diam
5	0,059082	0,060303	0,982422	Kepala Diam
6	0,058105	0,053955	0,993896	Kepala Diam
7	0,04248	0,064941	0,981934	Kepala Diam
8	0,052734	0,060791	0,979492	Kepala Diam

Dari hasil pengujian sensor *accelerometer* dengan konfigurasi DLPF yang dilakukan di dalam mobil diketahui bahwa pada saat dalam kondisi normal atau tidak ada perubahan posisi kepala yang terjadi secara tiba – tiba, nilai percepatan untuk sumbu X berkisar 0.05g, sumbu Y berkisar 0.05g, dan untuk sumbu Z berkisar 0.98g. Data yang tersimpan sebanyak 400 data untuk setiap sumbu yang disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Data Pengujian Kondisi Normal Di Dalam Mobil

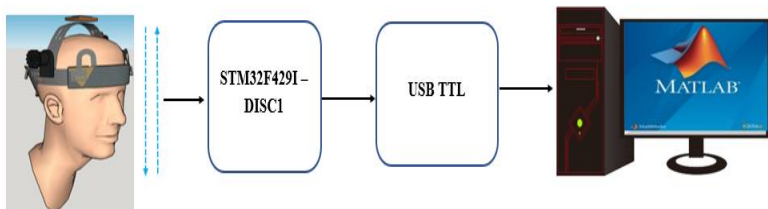
Proses pengujian kondisi normal pengemudi yang dilakukan di luar dan di dalam mobil dapat dilihat pada



Gambar 4.5 Pengujian Kondisi Normal Pengemudi

4.2 Pengujian Proses Monitoring Posisi Kepala Untuk Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk

Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik orang dalam kondisi kantuk dengan melihat perubahan drastis dari nilai percepatan pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z. Pengujian dilakukan dengan cara memonitoring nilai dari ketiga sumbu dari *accelerometer*. Pengujian dilakukan kepada koresponden dengan cara memasang *head gear* yang telah dilengkapi dengan sensor *accelerometer*. Kemudian koresponden akan menirukan perubahan posisi kepala layaknya seperti seseorang yang mengantuk. Sensor *accelerometer* akan mengirimkan data dari setiap sumbu sebesar 16 bit dan diolah menjadi nilai percepatan oleh mikrokontroler STM32F429I – DISC1. Data nilai percepatan dikirim menuju ke sebuah komputer menggunakan komunikasi serial USB TTL untuk ditampung dalam MATLAB 2016 sebagai *software* pengolah data. Diagram blok pengujian proses ekstraksi fitur perubahan posisi kepala orang yang mengantuk dapat dilihat Gambar 4.6



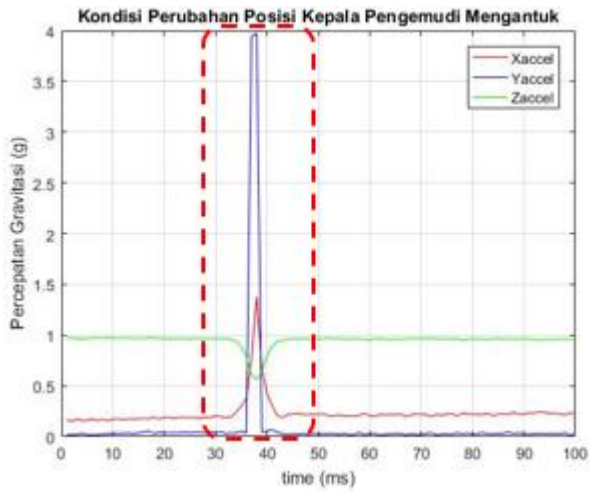
Gambar 4.6 Diagram Blok Pengujian Proses Ekstraksi Fitur Perubahan Posisi Kepala

Dari hasil pengujian diketahui bahwa pada saat terjadi perubahan posisi kepala, nilai percepatan gravitasi pada sumbu X berkisar 0.7g sampai 1.3g, untuk sumbu Y berkisar 3.94g sampai 3.97g, dan untuk sumbu Z berkisar 0.5g sampai 0.6g. Data ini akan digunakan pada proses pengenalan ciri orang yang mengantuk berdasarkan perubahan posisi kepala secara tiba – tiba dengan memberikan nilai ambang (*threshold*) untuk setiap sumbu. Data perubahan posisi kepala dari kondisi normal menjadi pergerakan kepala orang yang mengantuk disajikan dalam Tabel 4.4

Tabel 4.4 Data Perubahan Posisi Kepala

Time (ms)	α_x (g)	α_y (g)	α_z (g)	Keterangan
34	0,236816	0,036377	0,935547	Kepala Diam
35	0,29834	0,05127	0,880859	Kepala Diam
36	0,375244	0,035889	0,78833	Kepala Diam
37	0,77124	3,945068	0,605713	Perubahan Posisi
38	1,377686	3,971191	0,562988	Perubahan Posisi
39	0,672363	0,043701	0,640625	Kepala Diam
40	0,426025	0,053955	0,796631	Kepala Diam
41	0,302734	0,067627	0,88623	Kepala Diam

Secara keseluruhan, terdapat 100 sampel data untuk masing – masing sumbu yang ditampung, sesuai dengan besar buffer yang disediakan untuk menyimpan data tersebut. Data tersebut dapat dilihat pada bagian lampiran laporan Tugas Akhir dan grafik MATLAB 2016 yang dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Grafik Perubahan Posisi Kepala

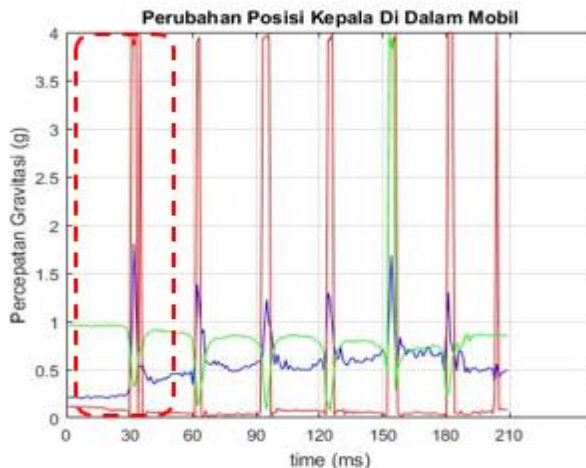
Data hasil pengujian monitoring perubahan posisi kepala yang dilakukan di dalam mobil disajikan dalam Tabel 4.5

Tabel 4.5 Data Perubahan Posisi Kepala Di Dalam Mobil

Time (ms)	α_x (g)	α_y (g)	α_z (g)	Keterangan
28	0,229492	0,08374	0,945801	Kepala Diam
29	0,252686	0,068359	0,911865	Kepala Diam
30	0,308105	0,049072	0,750244	Kepala Diam
31	0,884033	3,963623	0,450195	Perubahan Posisi Kepala

32	1,810547	3,855225	0,318604	Perubahan Posisi Kepala
33	1,152832	3,961914	0,357666	Perubahan Posisi Kepala
34	0,549561	0,006104	0,620361	Kepala Diam
35	0,525146	3,981445	0,72876	Kepala Diam

Dari hasil pengujian diketahui bahwa pada saat terjadi perubahan posisi kepala, nilai percepatan pada sumbu X berkisar 0.8g sampai 1.8g, untuk sumbu Y berkisar 3.8g sampai 3.9g , dan untuk sumbu Z berkisar 0.35g sampai 0.45g. Terdapat 210 data yang diperoleh dari pengambilan nilai fitur perubahan posisi kepala yang dilakukan di dalam mobil. Data tersebut disajikan dalam sebuah grafik seperti pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 Grafik Perubahan Posisi Kepala Di Dalam Mobil

Proses pengujian monitoring posisi kepala yang dilakukan di luar dan di dalam mobil dapat dilihat pada Gambar 4.9



Gambar 4.9 Proses Pengujian Monitoring Posisi Kepala

4.3 Pengujian Proses Deteksi Kantuk Untuk Sistem Peringatan Dini Pada Pengemudi Yang Mengantuk

Dari pengujian monitoring kondisi kepala, pola perubahan posisi kepala untuk pengujian di luar mobil dan di dalam mobil dapat teridentifikasi. Pemberian nilai ambang (*threshold*) yang diberikan pada tiap sumbu yang akan digunakan untuk mendeteksi kondisi kantuk berdasarkan perubahan posisi kepala pengemudi yang terjadi secara tiba – tiba. Pengujian dilakukan berdasarkan simulasi pergerakan kepala yang menggambarkan kondisi orang yang mengantuk yang dilakukan diluar dan di dalam mobil. Pergerakan kepala terjadi secara acak, namun apabila seseorang berada dalam kondisi duduk tegak lurus, maka titik berat akan condong ke arah depan. Oleh karena itu orang yang mengantuk dalam kondisi tersebut akan mengalami perubahan kepala mengangguk ke arah depan secara tiba – tiba. Durasi perubahan posisi kepala mulai dari proses awal kepala menunduk sampai kembali ke posisi awal adalah kurang dari sama dengan 20ms yang diukur menggunakan *stopwatch*. Perubahan posisi kepala tersebut yang akan dideteksi sebagai pola pergerakan kepala orang yang mengantuk. Proses pengujian dapat disajikan pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Pengujian Deteksi Kantuk

No	Pergerakan ke-	Durasi Pergerakan (ms)	Jenis Gerakan	Keterangan
1	1	18	Mengantuk	Terdeteksi
2	2	17	Mengantuk	Terdeteksi
3	3	18	Mengantuk	Terdeteksi

4	4	18	Mengantuk	Terdeteksi
5	5	19	Mengantuk	Terdeteksi
6	6	20	Mengantuk	Terdeteksi
7	7	18	Mengantuk	Gagal
8	8	20	Mengantuk	Terdeteksi
9	9	20	Mengantuk	Terdeteksi
10	10	19	Mengantuk	Gagal

Pengujian yang dilakukan di luar mobil dilakukan sebanyak 10 kali pergerakan, dengan nilai ambang untuk sumbu X sebesar 0.6g, sumbu Y sebesar 3.5g dan sumbu z sebesar 0.85g. Dari 8 pergerakan kepala berhasil terdeteksi dan 2 pergerakan kepala yang tidak berhasil terdeteksi. Persentase keberhasilan dari pengujian tersebut sebesar 80%.

Tabel 4.7 Pengujian Deteksi Kantuk Di dalam Mobil

No	Pergerakan ke-	Durasi Pergerakan (ms)	Jenis Gerakan	Keterangan
1	1	20	Mengantuk	Terdeteksi
2	2	18	Mengantuk	Terdeteksi
3	3	19	Mengantuk	Gagal
4	4	18	Mengantuk	Terdeteksi
5	5	20	Mengantuk	Terdeteksi
6	6	20	Mengantuk	Terdeteksi
7	7	18	Mengantuk	Gagal
8	8	19	Mengantuk	Terdeteksi
9	9	20	Mengantuk	Terdeteksi
10	10	19	Mengantuk	Gagal

Sedangkan untuk pengujian deteksi kantuk yang dilakukan di dalam mobil seperti yang tersaji pada Tabel 4.7, dari 10 kali pergerakan kepala, dengan nilai ambang untuk sumbu X sebesar 1g, sumbu Y sebesar 3.5g dan sumbu z sebesar 0.5g. Dari 7 pergerakan kepala berhasil terdeteksi dan 3 pergerakan tidak berhasil terdeteksi. Persentase keberhasilan dari pengujian tersebut sebesar 70%.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB V

PENUTUP

Proses deteksi kondisi kantuk dapat diperoleh dengan cara mengidentifikasi perubahan nilai percepatan gravitasi pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z yang terjadi serentak. Dari hasil analisa pengujian yang dilakukan di luar mobil diperoleh data untuk seseorang dalam kondisi normal atau tidak terjadi perubahan posisi kepala yang terjadi secara tiba – tiba , nilai percepatan gravitasi untuk sumbu X berkisar 0.03g, sumbu Y berkisar 0.03g, dan untuk sumbu Z berkisar 0.98g. Sedangkan pengujian yang dilakukan di dalam mobil, nilai percepatan gravitasi untuk sumbu X berkisar 0.05g, sumbu Y berkisar 0.05g, dan untuk sumbu Z berkisar 0.98g. Untuk kondisi seseorang yang mengantuk di luar mobil, nilai percepatan gravitasi pada sumbu X berkisar 0.7g sampai 1.3g, untuk sumbu Y berkisar 3.94g sampai 3.97g, dan untuk sumbu Z berkisar 0.5g sampai 0.6g. Untuk Pengujian di dalam mobil, nilai percepatan gravitasi pada sumbu X berkisar 0.8g sampai 1.8g, untuk sumbu Y berkisar 3.8g sampai 3.9g , dan untuk sumbu Z berkisar 0.35g sampai 0.45g. Indikator *buzzer* akan aktif apabila sistem dapat mengenali kondisi kantuk yang dialami oleh pengemudi. Pengujian yang dilakukan di luar mobil dilakukan sebanyak 10 kali pergerakan, dengan nilai ambang untuk sumbu X sebesar 0.6, sumbu Y sebesar 3.5 dan sumbu z sebesar 0.85. Dari 8 pergerakan kepala berhasil terdeteksi dan 2 pergerakan kepala yang tidak berhasil terdeteksi. Persentase keberhasilan dari pengujian tersebut sebesar 80%. Sedangkan untuk pengujian deteksi kantuk yang dilakukan di dalam mobil, dilakukan sebanyak 10 kali pergerakan kepala, dengan nilai ambang untuk sumbu X sebesar 1, sumbu Y sebesar 3.5 dan sumbu z sebesar 0.5. Dari 7 pergerakan kepala berhasil terdeteksi dan 3 pergerakan tidak berhasil terdeteksi. Persentase keberhasilan dari pengujian tersebut sebesar 70%.

Saran untuk penelitian selanjutnya diperlukan proses filter untuk memperoleh hasil deteksi kantuk dengan akurasi yang lebih baik. Desain *wearable* perlu ditingkatkan dengan menambahkan komunikasi *wireless* antara kontroler dan sensor *accelerometer* yang terdapat pada *headgear* agar lebih nyaman digunakan oleh pengemudi mobil.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ketua Sub Komite dan Investigasi Kecelakaan LLAJ, "DATA INVESTIGASI KECELAKAAN LLAJ TAHUN 2010 – 2016," Jakarta, 30-Nov-2016.
- [2] Y. Y. Lin dan P. A. Hsiung, "An early warning system for predicting driver fatigue," dalam *2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW)*, 2017, hlm. 283–284.
- [3] A. R. Beukman, G. P. Hancke, dan B. J. Silva, "A multi-sensor system for detection of driver fatigue," dalam *2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 2016, hlm. 870–873.
- [4] N. Rudigkeit, M. Gebhard, dan A. Graser, "An analytical approach for head gesture recognition with motion sensors," dalam *2015 9th International Conference on Sensing Technology (ICST)*, 2015, hlm. 1–6.
- [5] A. Mittal, K. Kumar, S. Dhamija, dan M. Kaur, "Head movement-based driver drowsiness detection: A review of state-of-art techniques," dalam *2016 IEEE International Conference on Engineering and Technology (ICETECH)*, 2016, hlm. 903–908.
- [6] Michael J. Thorpy dan Michael Billiard, Ed., *Sleepiness Causes, Consequences and Treathment*. United Kingdom: University Press, Cambridge, 2011.
- [7] F. Fachrudin, C. S. Wahyuning, dan Y. Yuniar, "ANALISIS PENGARUH TINGKAT KANTUK TERHADAP KECEPATAN REAKSI MASINIS DAERAH OPERASI II BANDUNG," *REKA INTEGRA*, vol. 3, no. 1, Jan 2015.
- [8] J. M. Lyznicki, T. C. Doege, R. M. Davis, dan M. A. Williams, "Sleepiness, driving, and motor vehicle crashes. Council on Scientific Affairs, American Medical Association," *JAMA*, vol. 279, no. 23, hlm. 1908–1913, Jun 1998.
- [9] G. Micic dkk., "Nocturnal Melatonin Profiles in Patients with Delayed Sleep-Wake Phase Disorder and Control Sleepers," *J. Biol. Rhythms*, vol. 30, no. 5, hlm. 437–448, Okt 2015.
- [10] "Periodic Limb Movements - Overview and Facts." [Daring]. Tersedia pada: <http://sleepeducation.org/sleep-disorders-by-category/sleep-movement-disorders/periodic-limb-movements/overview-facts/>. [Diakses: 18-Jun-2018].

- [11] Philips Semiconductors, *THE I2C-BUS SPECIFICATION*, 2.1. Eindhoven: Philips Semiconductors, 2000.
- [12] S. Eka Maulana, "Komparasi Sistem Komunikasi Serial Multipoint pada Robot Management Sampah menggunakan I2C dan SPI," *J. Mhs. TEUB*, vol. 2, no. 3, Jun 2014.
- [13] InvenSense, *MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification*, Revision 3.4. Taiwan: InvenSense, 2013.
- [14] J. Fraden, *HANBOOK OF MODERN SENSORS*, 3 ed. San Diego, USA: Advanced Monitors Corporation, 2013.
- [15] "Accelerometer and Gyroscopes Sensors: Operation, Sensing, and Applications - Application Note - Maxim." [Daring]. Tersedia pada: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/5830>. [Diakses: 25-Mei-2018].
- [16] "32F429IDISCOVERY - Discovery kit with STM32F429ZI MCU * New order code STM32F429I-DISC1 (replaces STM32F429I-DISCO) - STMicroelectronics." [Daring]. Tersedia pada: http://www.st.com/content/st_com/en/products/evaluation-tools/product-evaluation-tools/mcu-eval-tools/stm32-mcu-eval-tools/stm32-mcu-discovery-kits/32f429idiscovery.html. [Diakses: 28-Mei-2018].
- [17] STMicroelectronics, *Discovery kit with STM32F429ZI MCU - User manual*. Geneva: STMicroelectronics, 2016.
- [18] STMicroelectronics, *STM32F405xx/07xx, STM32F415xx/17xx, STM32F42xxx and STM32F43xxx advanced ARM®-based 32-bit MCUs - Reference manual*. Geneva: STMicroelectronics, 2014.

LAMPIRAN A

A.1. Program Pengambilan Data *Accelerometer*

```
#include "main.h"
#include "stm32f4xx_hal.h"

I2C_HandleTypeDef hi2c1;

UART_HandleTypeDef huart1;

#define MPUADDRESS 0xD0

void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_I2C1_Init(void);
static void MX_USART1_UART_Init(void);
uint8_t buffer[20];
uint16_t ax,ay,az,gx,gy,gz;
float Xaccel,Yaccel,Zaccel;
float Ax[1000];
int time;

#ifdef __GNUC__

#define PUTCHAR_PROTOTYPE int __io_putchar(int ch)
#else
#define PUTCHAR_PROTOTYPE int fputc(int ch, FILE *f)
#endif
/* USER CODE END 0 */
PUTCHAR_PROTOTYPE{
    HAL_UART_Transmit(&huart1,(uint8_t *)&ch,1,0xFFFF);

    return ch;
}

int main(void)
{
    HAL_Init();
```

```

SystemClock_Config();

MX_GPIO_Init();
MX_I2C1_Init();
MX_USART1_UART_Init();

if(HAL_I2C_IsDeviceReady(&hi2c1,mpuaddress,1,100)==
HAL_OK){
    HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD,GPIO_PIN_13);
    HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD,GPIO_PIN_9);
}

else{
    HAL_GPIO_TogglePin(GPIOD,GPIO_PIN_14);
}

buffer[0] = 0x6B;
buffer[1] = 0x00;
HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c1,mpuaddress,buffer,2,10);

buffer[0] = 0x1A;
buffer[1] = 0x03; // bw = 44, Delay = 4.9ms
HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c1,mpuaddress,buffer,2,10);

buffer[0] = 0x1C;
buffer[1] = 0x01;
HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c1,mpuaddress,buffer,2,10);

while (1)
{
    HAL_Delay(5);
    buffer[0]= 0x3B;
    HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c1,mpuaddress,buffer,1,10);

    buffer[0]= 0x00;
    HAL_I2C_Master_Receive(&hi2c1,mpuaddress,&buffer[0],6,1
0);
}

```

```

ax=(buffer[0]<<8 | buffer[1]);
ay=(buffer[2]<<8 | buffer[3]);
az=(buffer[4]<<8 | buffer[5]);

Xaccel = ax*1.0f/16384.0f;
Yaccel = ay*1.0f/16384.0f;
Zaccel = az*1.0f/16384.0f;

time=0;
    HAL_Delay(5);
if(Xaccel >= 0.6f && Zaccel <= 0.85f){
    time=0;
    while(Xaccel >= 0.6f && Zaccel <= 0.85f){
        HAL_Delay(5);
        buffer[0]= 0x3B;
        HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c1,mpuaddress,buffer,1,10);

        buffer[0]= 0x00;
        HAL_I2C_Master_Receive(&hi2c1,mpuaddress,&buffer[0],6,1
0);

        ax=(buffer[0]<<8 | buffer[1]);
        ay=(buffer[2]<<8 | buffer[3]);
        az=(buffer[4]<<8 | buffer[5]);

        Xaccel = ax*1.0f/16384.0f;
        Yaccel = ay*1.0f/16384.0f;
        Zaccel = az*1.0f/16384.0f;
        time=time+1;
        if(Xaccel < 0.6f && Zaccel > 0.85f){
            break;
        }
        if (time<20&&time>0){

        HAL_GPIO_TogglePin(GPIOF,GPIO_PIN_7);
        HAL_Delay(500);

```

```

    HAL_GPIO_WritePin(GPIOF,GPIO_PIN_7,GPIO_PIN_RESE
T);

        HAL_Delay(500);

    }

    //printf("%d\t",time);
    printf("%f\t",Xaccel);
    printf("%f\t",Yaccel);
    printf("%f\t\r\n",Zaccel);
    HAL_Delay(100);
}

}

void SystemClock_Config(void)
{

    RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct;
    RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct;

    __HAL_RCC_PWR_CLK_ENABLE();

    __HAL_PWR_VOLTAGESCALING_CONFIG(PWR_REGULATOR_
VOLTAGE_SCALE3);

    RCC_OscInitStruct.OscillatorType =
RCC_OSCILLATORTYPE_HSI;
    RCC_OscInitStruct.HSISState = RCC_HSI_ON;
    RCC_OscInitStruct.HSICalibrationValue = 16;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSI;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLM = 8;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLN = 50;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLP = RCC_PLLP_DIV4;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLQ = 7;
    if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
    {

```



```

        _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
    }

    RCC_ClkInitStruct.ClockType
RCC_CLOCKTYPE_HCLK|RCC_CLOCKTYPE_SYCLK
=

|RCC_CLOCKTYPE_PCLK1|RCC_CLOCKTYPE_PCLK2;
    RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource
RCC_SYCLKSOURCE_PLLCLK;
=
    RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYCLK_DIV1;
    RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV8;
    RCC_ClkInitStruct.APB2CLKDivider = RCC_HCLK_DIV4;

    if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct,
FLASH_LATENCY_0) != HAL_OK)
    {
        _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
    }

    HAL_SYSTICK_Config(HAL_RCC_GetHCLKFreq()/1000);

    HAL_SYSTICK_CLKSourceConfig(SYSTICK_CLKSOURCE_HCLK
);
    HAL_NVIC_SetPriority(SysTick_IRQn, 0, 0);
}

static void MX_I2C1_Init(void)
{
    hi2c1.Instance = I2C1;
    hi2c1.Init.ClockSpeed = 100000;
    hi2c1.Init.DutyCycle = I2C_DUTYCYCLE_2;
    hi2c1.Init.OwnAddress1 = 0;
    hi2c1.Init.AddressingMode = I2C_ADDRESSINGMODE_7BIT;
    hi2c1.Init.DualAddressMode
I2C_DUALADDRESS_DISABLE;
=
    hi2c1.Init.OwnAddress2 = 0;
    hi2c1.Init.GeneralCallMode
I2C_GENERALCALL_DISABLE;
=

```

```

hi2c1.Init.NoStretchMode = I2C_NOSTRETCH_DISABLE;
if (HAL_I2C_Init(&hi2c1) != HAL_OK)
{
    _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
}

}

static void MX_USART1_UART_Init(void)
{
    huart1.Instance = USART1;
    huart1.Init.BaudRate = 115200;
    huart1.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
    huart1.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
    huart1.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
    huart1.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
    huart1.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
    huart1.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
    if (HAL_UART_Init(&huart1) != HAL_OK)
    {
        _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
    }

}

static void MX_GPIO_Init(void)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct;

    /* GPIO Ports Clock Enable */
    __HAL_RCC_GPIOF_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOD_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOG_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();

```

```

HAL_GPIO_WritePin(GPIOF,                GPIO_PIN_7,
GPIO_PIN_RESET);
HAL_GPIO_WritePin(GPIOID,                GPIO_PIN_9,
GPIO_PIN_RESET);
HAL_GPIO_WritePin(GPIOG,    GPIO_PIN_13|GPIO_PIN_14,
GPIO_PIN_RESET);

```

```

GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_7;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
HAL_GPIO_Init(GPIOF, &GPIO_InitStruct);

```

```

GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_9;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
HAL_GPIO_Init(GPIOID, &GPIO_InitStruct);

```

```

GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_13|GPIO_PIN_14;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
HAL_GPIO_Init(GPIOG, &GPIO_InitStruct);

```

```

}

```

```

void _Error_Handler(char *file, int line)

```

```

{
    while(1)
    {
    }
}

```

```

void assert_failed(uint8_t* file, uint32_t line)

```

```

{
}

```

```
#endif
```

A.2. Program MATLAB Untuk Pembacaan Serial

```
clear clc;
instrfind
delete(instrfind);
buffSize = 100;
newest=0;
circBufx = nan(1,buffSize);
circBuffy = nan(1,buffSize);
circBufz = nan(1,buffSize);
sObject=serial('com3',
'BaudRate',115200,'TimeOut',10,'Terminator','LF')
fopen(sObject)
for newest = 1:buffSize;
    r=fgets(sObject);
    x=r(1:10);
    y=r(11:20);
    z=r(21:30);
    dataacc=str2double(x);
    circBufx = [circBufx(2:end) dataacc]
    dataacc=str2double(y);
    circBuffy = [circBuffy(2:end) dataacc]
    dataacc=str2double(z);
    circBufz = [circBufz(2:end) dataacc]
end
newest=0;
plot(circBufx,'r');
hold on;
plot(circBuffy,'b');
plot(circBufz,'g');
hold on;
grid on;
legend('Xaccel', 'Yaccel' , 'Zaccel');
xlabel('time (ms)');
ylabel('Acceleration (g)');
fclose(sObject);
```

A.3. Data Pengujian Sensor Accelerometer Tanpa DLPPF

Time (ms)	α_x (g)	α_y (g)	α_z (g)	Keterangan
1	0,109619	0,044922	0,980469	Kepala Diam
2	0,125732	0,019043	0,981445	Kepala Diam
3	0,123535	0,036621	0,979004	Kepala Diam
4	0,133789	0,031982	0,973145	Kepala Diam
5	0,147949	0,033203	0,962891	Kepala Diam
6	0,128418	0,027344	0,983154	Kepala Diam
7	0,128174	0,037109	0,980957	Kepala Diam
8	0,123291	0,025879	0,975586	Kepala Diam
9	0,139648	0,03125	0,971436	Kepala Diam
10	0,130371	0,026367	0,976074	Kepala Diam
11	0,124756	0,02002	0,981201	Kepala Diam
12	0,127686	0,033447	0,984131	Kepala Diam
13	0,130859	0,023682	0,976807	Kepala Diam
14	0,139648	0,030273	0,972412	Kepala Diam
15	0,129639	0,025391	0,97876	Kepala Diam
16	0,133545	0,016846	0,977051	Kepala Diam
17	0,119629	0,03418	0,98291	Kepala Diam
18	0,124512	0,018311	0,976318	Kepala Diam

19	0,127441	0,023926	0,983887	Kepala Diam
20	0,127686	0,03125	0,977783	Kepala Diam
21	0,111572	0,039551	0,990967	Kepala Diam
22	0,130615	0,026855	0,973145	Kepala Diam
23	0,131104	0,031982	0,970703	Kepala Diam
24	0,141113	0,03125	0,973145	Kepala Diam
25	0,133301	0,023193	0,977295	Kepala Diam
26	0,127686	0,027588	0,964355	Kepala Diam
27	0,139893	0,027588	0,969238	Kepala Diam
28	0,123047	0,020508	0,980469	Kepala Diam
29	0,132324	0,039551	0,972168	Kepala Diam
30	0,12915	0,034668	0,980225	Kepala Diam
31	0,135742	0,025635	0,974854	Kepala Diam
32	0,150146	0,036133	0,97168	Kepala Diam
33	0,127441	0,026855	0,964111	Kepala Diam
34	0,132324	0,02124	0,9729	Kepala Diam
35	0,126221	0,028809	0,976074	Kepala Diam
36	0,131836	0,022705	0,968994	Kepala Diam
37	0,125732	0,027344	0,983643	Kepala Diam

38	0,131348	0,030273	0,984619	Kepala Diam
39	0,12207	0,021484	0,971436	Kepala Diam
40	0,125244	0,026611	0,977783	Kepala Diam
41	0,117432	0,025391	0,977295	Kepala Diam
42	0,133789	0,035889	0,97168	Kepala Diam
43	0,131348	0,040771	0,968018	Kepala Diam
44	0,134521	0,0354	0,97583	Kepala Diam
45	0,124023	0,041748	0,973633	Kepala Diam
46	0,132568	0,031982	0,975098	Kepala Diam
47	0,120605	0,030762	0,971924	Kepala Diam
48	0,115479	0,041748	0,981689	Kepala Diam
49	0,135986	0,023438	0,975342	Kepala Diam
50	0,124756	0,037354	0,977539	Kepala Diam
51	0,136475	0,035156	0,978027	Kepala Diam
52	0,125244	0,027832	0,977783	Kepala Diam
53	0,125977	0,031006	0,983643	Kepala Diam
54	0,121094	0,035156	0,983887	Kepala Diam
55	0,131836	0,029053	0,968018	Kepala Diam
56	0,12085	0,036133	0,973389	Kepala Diam

57	0,123535	0,030762	0,979248	Kepala Diam
58	0,119873	0,028564	0,97876	Kepala Diam
59	0,128174	0,028076	0,973877	Kepala Diam
60	0,118652	0,019775	0,977539	Kepala Diam
61	0,12793	0,033203	0,977539	Kepala Diam
62	0,127441	0,029297	0,979736	Kepala Diam
63	0,134277	0,032715	0,972168	Kepala Diam
64	0,118652	0,030029	0,976074	Kepala Diam
65	0,121094	0,030029	0,976807	Kepala Diam
66	0,135254	0,025879	0,972412	Kepala Diam
67	0,114502	0,037842	0,980713	Kepala Diam
68	0,121338	0,02417	0,981201	Kepala Diam
69	0,128418	0,032227	0,982422	Kepala Diam
70	0,121338	0,033691	0,975342	Kepala Diam
71	0,122803	0,037354	0,975586	Kepala Diam
72	0,125488	0,033691	0,966309	Kepala Diam
73	0,116943	0,034668	0,978027	Kepala Diam
74	0,120605	0,023682	0,973877	Kepala Diam
75	0,133789	0,034424	0,983154	Kepala Diam

76	0,121094	0,029785	0,976807	Kepala Diam
77	0,126953	0,032471	0,978516	Kepala Diam
78	0,132324	0,032959	0,969727	Kepala Diam
79	0,125977	0,025635	0,986084	Kepala Diam
80	0,120361	0,032959	0,979004	Kepala Diam
81	0,135498	0,030518	0,972656	Kepala Diam
82	0,122314	0,033691	0,97583	Kepala Diam
83	0,111572	0,052002	0,971191	Kepala Diam
84	0,135498	0,031494	0,984375	Kepala Diam
85	0,123047	0,02832	0,976807	Kepala Diam
86	0,121582	0,028809	0,972412	Kepala Diam
87	0,126465	0,040527	0,976318	Kepala Diam
88	0,11377	0,033447	0,980713	Kepala Diam
89	0,122559	0,031494	0,971924	Kepala Diam
90	0,136475	0,035889	0,973877	Kepala Diam
91	0,121582	0,030518	0,987061	Kepala Diam
92	0,124268	0,034424	0,979248	Kepala Diam
93	0,127441	0,034424	0,977051	Kepala Diam
94	0,122314	0,038086	0,974609	Kepala Diam

95	0,136475	0,035889	0,970459	Kepala Diam
96	0,141846	0,03418	0,967773	Kepala Diam
97	0,11499	0,039307	0,974121	Kepala Diam
98	0,127441	0,029785	0,969482	Kepala Diam
99	0,132324	0,034424	0,978027	Kepala Diam
100	0,119873	0,030029	0,976074	Kepala Diam

A.4 Data Pengujian Sensor Accelerometer Menggunakan DLPF

Time (ms)	α_x (g)	α_y (g)	α_z (g)	Keterangan
1	0,031372	0,039185	0,978149	Kepala Diam
2	0,039795	0,021973	0,975098	Kepala Diam
3	0,029907	0,03833	0,973877	Kepala Diam
4	0,031006	0,028564	0,979248	Kepala Diam
5	0,030151	0,032227	0,981323	Kepala Diam
6	0,038452	0,018921	0,980225	Kepala Diam
7	0,046387	0,022583	0,97876	Kepala Diam
8	0,025513	0,037354	0,980469	Kepala Diam
9	0,031006	0,02771	0,982422	Kepala Diam

10	0,031128	0,025513	0,979614	Kepala Diam
11	0,025391	0,036255	0,980713	Kepala Diam
12	0,036011	0,030151	0,983398	Kepala Diam
13	0,025635	0,021484	0,980591	Kepala Diam
14	0,036865	0,031372	0,981445	Kepala Diam
15	0,030518	0,020386	0,977783	Kepala Diam
16	0,032837	0,025391	0,97937	Kepala Diam
17	0,026733	0,023438	0,981689	Kepala Diam
18	0,037598	0,015991	0,970093	Kepala Diam
19	0,033813	0,021484	0,977417	Kepala Diam
20	0,017456	0,019531	0,976929	Kepala Diam
21	0,029907	0,018433	0,980713	Kepala Diam
22	0,029907	0,026733	0,979126	Kepala Diam
23	0,026123	0,021362	0,978027	Kepala Diam
24	0,013672	0,031982	0,982666	Kepala Diam
25	0,03418	0,021118	0,974121	Kepala Diam
26	0,015015	0,024414	0,979492	Kepala Diam
27	0,016357	0,027222	0,978882	Kepala Diam
28	0,023315	0,022583	0,982544	Kepala Diam

29	0,016357	0,021729	0,984619	Kepala Diam
30	0,020142	0,019531	0,979858	Kepala Diam
31	0,026733	0,027344	0,98291	Kepala Diam
32	0,02417	0,022095	0,977173	Kepala Diam
33	0,026489	0,025146	0,979126	Kepala Diam
34	0,015503	0,024902	0,984619	Kepala Diam
35	0,028809	0,022949	0,976196	Kepala Diam
36	0,028076	0,024658	0,97876	Kepala Diam
37	0,018921	0,016479	0,981079	Kepala Diam
38	0,016602	0,016235	0,980225	Kepala Diam
39	0,031372	0,023071	0,979004	Kepala Diam
40	0,026855	0,024658	0,981689	Kepala Diam
41	0,022949	0,020752	0,983887	Kepala Diam
42	0,031128	0,021851	0,978271	Kepala Diam
43	0,022217	0,021729	0,982422	Kepala Diam
44	0,032715	0,021484	0,979492	Kepala Diam
45	0,021973	0,02002	0,979736	Kepala Diam
46	0,023926	0,030396	0,981445	Kepala Diam
47	0,038818	0,017578	0,978516	Kepala Diam

48	0,030518	0,034058	0,973999	Kepala Diam
49	0,034058	0,024414	0,982056	Kepala Diam
50	0,02356	0,024902	0,975952	Kepala Diam
51	0,024902	0,02417	0,97876	Kepala Diam
52	0,043335	0,020874	0,980225	Kepala Diam
53	0,023193	0,016113	0,982178	Kepala Diam
54	0,022827	0,022827	0,98291	Kepala Diam
55	0,033081	0,025513	0,981689	Kepala Diam
56	0,026978	0,022339	0,984497	Kepala Diam
57	0,029785	0,018677	0,98291	Kepala Diam
58	0,033691	0,031738	0,980957	Kepala Diam
59	0,032715	0,027466	0,977173	Kepala Diam
60	0,018433	0,030518	0,981812	Kepala Diam
61	0,027588	0,029297	0,978149	Kepala Diam
62	0,030151	0,018555	0,984009	Kepala Diam
63	0,019165	0,017578	0,980957	Kepala Diam
64	0,018799	0,026001	0,978149	Kepala Diam
65	0,020874	0,027222	0,979004	Kepala Diam
66	0,028076	0,025513	0,978027	Kepala Diam

67	0,024048	0,026001	0,975342	Kepala Diam
68	0,023315	0,025879	0,975464	Kepala Diam
69	0,029907	0,02124	0,980469	Kepala Diam
70	0,025635	0,026489	0,981323	Kepala Diam
71	0,029053	0,016113	0,981567	Kepala Diam
72	0,027588	0,026611	0,978027	Kepala Diam
73	0,027832	0,021118	0,977295	Kepala Diam
74	0,030396	0,029297	0,984863	Kepala Diam
75	0,041992	0,020874	0,979614	Kepala Diam
76	0,026489	0,022339	0,985352	Kepala Diam
77	0,032104	0,023071	0,979614	Kepala Diam
78	0,031616	0,029175	0,978027	Kepala Diam
79	0,026611	0,024536	0,981079	Kepala Diam
80	0,029297	0,020874	0,980347	Kepala Diam
81	0,025024	0,026123	0,981201	Kepala Diam
82	0,030151	0,026001	0,982056	Kepala Diam
83	0,03418	0,027954	0,983032	Kepala Diam
84	0,028076	0,026245	0,976563	Kepala Diam
85	0,038696	0,020752	0,972778	Kepala Diam

86	0,033813	0,025635	0,981567	Kepala Diam
87	0,022461	0,024048	0,974487	Kepala Diam
88	0,029541	0,027344	0,978149	Kepala Diam
89	0,026367	0,024292	0,979858	Kepala Diam
90	0,02002	0,026367	0,975342	Kepala Diam
91	0,020874	0,032959	0,979858	Kepala Diam
92	0,037109	0,017334	0,980713	Kepala Diam
93	0,025269	0,030762	0,976318	Kepala Diam
94	0,030396	0,02124	0,980713	Kepala Diam
95	0,023193	0,018921	0,981323	Kepala Diam
96	0,036377	0,015991	0,972168	Kepala Diam
97	0,037842	0,025024	0,980835	Kepala Diam
98	0,025513	0,019165	0,976196	Kepala Diam
99	0,030762	0,018311	0,981201	Kepala Diam
100	0,02832	0,027344	0,980225	Kepala Diam

A.5. Data Pengujian Monitoring Perubahan Posisi Kepala

Time (ms)	α_x (g)	α_x (g)	α_x (g)	Keterangan
22	0,178467	0,037354	0,967285	Kepala Diam
23	0,191162	0,037109	0,958984	Kepala Diam

24	0,184326	0,042725	0,966553	Kepala Diam
25	0,187012	0,037598	0,954346	Kepala Diam
26	0,185791	0,040527	0,975586	Kepala Diam
27	0,176758	0,04248	0,962646	Kepala Diam
28	0,191406	0,036377	0,965332	Kepala Diam
29	0,184326	0,041504	0,96582	Kepala Diam
30	0,204346	0,037842	0,962158	Kepala Diam
31	0,194824	0,046387	0,966309	Kepala Diam
32	0,186768	0,030762	0,960693	Kepala Diam
33	0,194092	0,034424	0,959473	Kepala Diam
34	0,236816	0,036377	0,935547	Kepala Diam
35	0,29834	0,05127	0,880859	Kepala Diam
36	0,375244	0,035889	0,78833	Kepala Diam
37	0,77124	3,945068	0,605713	Perubahan Posisi
38	1,377686	3,971191	0,562988	Perubahan Posisi
39	0,672363	0,043701	0,640625	Kepala Diam
40	0,426025	0,053955	0,796631	Kepala Diam
41	0,302734	0,067627	0,88623	Kepala Diam
42	0,207031	0,04248	0,937012	Kepala Diam

43	0,187744	0,028809	0,945068	Kepala Diam
44	0,215088	0,019043	0,958496	Kepala Diam
45	0,222656	0,025635	0,961182	Kepala Diam
46	0,229248	0,022217	0,960205	Kepala Diam
47	0,218018	0,030762	0,965332	Kepala Diam
48	0,213135	0,020752	0,955811	Kepala Diam
49	0,216309	0,036377	0,963623	Kepala Diam
50	0,216553	0,024658	0,959229	Kepala Diam
51	0,225098	0,026611	0,962646	Kepala Diam
52	0,202393	0,028076	0,972412	Kepala Diam
53	0,202637	0,029785	0,964355	Kepala Diam
54	0,212402	0,021729	0,962891	Kepala Diam
55	0,203125	0,029541	0,963379	Kepala Diam
56	0,205078	0,019287	0,95459	Kepala Diam
57	0,200684	0,019531	0,963379	Kepala Diam
58	0,20874	0,039795	0,959717	Kepala Diam
59	0,22876	0,018799	0,956299	Kepala Diam
60	0,205811	0,029297	0,94873	Kepala Diam
61	0,197021	0,030518	0,970459	Kepala Diam

62	0,218018	0,011475	0,962158	Kepala Diam
63	0,210693	0,023438	0,958496	Kepala Diam
64	0,213867	0,0271	0,952637	Kepala Diam
65	0,212402	0,028809	0,962402	Kepala Diam
66	0,222656	0,031494	0,95166	Kepala Diam
67	0,198242	0,012939	0,960205	Kepala Diam
68	0,211426	0,029053	0,970947	Kepala Diam
69	0,222168	0,018799	0,963623	Kepala Diam
70	0,220215	0,022461	0,968018	Kepala Diam
71	0,214355	0,031006	0,955811	Kepala Diam
72	0,196045	0,036865	0,973633	Kepala Diam
73	0,218262	0,015625	0,959229	Kepala Diam
74	0,208252	0,025391	0,960938	Kepala Diam
75	0,218506	0,025879	0,96167	Kepala Diam
76	0,225586	0,021729	0,958496	Kepala Diam
77	0,200928	0,03833	0,968994	Kepala Diam
78	0,233154	0,025391	0,948975	Kepala Diam
79	0,223145	0,035889	0,958984	Kepala Diam
80	0,218262	0,025391	0,959961	Kepala Diam

81	0,217773	0,025635	0,959961	Kepala Diam
82	0,211914	0,039551	0,958984	Kepala Diam
83	0,233643	0,026367	0,952148	Kepala Diam
84	0,202881	0,025635	0,964355	Kepala Diam
85	0,222168	0,029053	0,967041	Kepala Diam
86	0,222656	0,031006	0,95752	Kepala Diam
87	0,217041	0,044189	0,960938	Kepala Diam
88	0,238525	0,027588	0,958252	Kepala Diam
89	0,220215	0,036865	0,960693	Kepala Diam
90	0,219727	0,027832	0,961426	Kepala Diam
91	0,23584	0,023438	0,958984	Kepala Diam
92	0,229492	0,028076	0,957764	Kepala Diam
93	0,244141	0,031006	0,950928	Kepala Diam
94	0,237549	0,028076	0,954102	Kepala Diam
95	0,226318	0,029053	0,956543	Kepala Diam
96	0,232178	0,027588	0,954834	Kepala Diam
97	0,222656	0,026855	0,959961	Kepala Diam
98	0,211182	0,037109	0,958984	Kepala Diam
99	0,233398	0,011719	0,956543	Kepala Diam

100	0,223877	0,028076	0,9646	Kepala Diam
-----	----------	----------	--------	----------------

A.6 Data Pengujian Monitoring Perubahan Posisi Kepala Di Dalam Mobil

Time (ms)	α_x (g)	α_y (g)	α_z (g)	Keterangan
1	0,217773	0,115234	0,958496	Kepala Diam
2	0,204346	0,119629	0,959473	Kepala Diam
3	0,217041	0,116211	0,966064	Kepala Diam
4	0,216309	0,107422	0,957275	Kepala Diam
5	0,210693	0,124268	0,959961	Kepala Diam
6	0,212891	0,104004	0,954834	Kepala Diam
7	0,198486	0,103516	0,956787	Kepala Diam
8	0,207031	0,121582	0,960205	Kepala Diam
9	0,212646	0,111816	0,954834	Kepala Diam
10	0,230957	0,112793	0,951904	Kepala Diam
11	0,206299	0,112305	0,956787	Kepala Diam
12	0,200195	0,108398	0,94873	Kepala Diam
13	0,218018	0,113525	0,945557	Kepala Diam
14	0,22583	0,105469	0,963135	Kepala Diam
15	0,210938	0,11084	0,957275	Kepala Diam

16	0,22168	0,106934	0,962402	Kepala Diam
17	0,222168	0,106689	0,951172	Kepala Diam
18	0,209961	0,10376	0,95166	Kepala Diam
19	0,210693	0,091064	0,951172	Kepala Diam
20	0,199951	0,084961	0,971191	Kepala Diam
21	0,225098	0,078369	0,960205	Kepala Diam
22	0,226807	0,082764	0,953857	Kepala Diam
23	0,216309	0,081299	0,954346	Kepala Diam
24	0,220215	0,086182	0,959961	Kepala Diam
25	0,24292	0,087402	0,956299	Kepala Diam
26	0,234863	0,079102	0,961426	Kepala Diam
27	0,233643	0,085205	0,943848	Kepala Diam
28	0,229492	0,08374	0,945801	Kepala Diam
29	0,252686	0,068359	0,911865	Kepala Diam
30	0,308105	0,049072	0,750244	Kepala Diam
31	0,884033	3,963623	0,450195	Perubahan Posisi Kepala
32	1,810547	3,855225	0,318604	Perubahan Posisi Kepala

33	1,152832	3,961914	0,357666	Perubahan Posisi Kepala
34	0,549561	0,006104	0,620361	Kepala Diam
35	0,525146	3,981445	0,72876	Kepala Diam
36	0,552246	0,029297	0,700439	Kepala Diam
37	0,48291	0,011475	0,833496	Kepala Diam
38	0,424316	0,065674	0,866455	Kepala Diam
39	0,384277	0,062988	0,889404	Kepala Diam
40	0,427734	0,058105	0,889404	Kepala Diam
41	0,363525	0,047119	0,914795	Kepala Diam
42	0,350098	0,057617	0,909912	Kepala Diam
43	0,399414	0,054443	0,914063	Kepala Diam
44	0,379883	0,060059	0,897461	Kepala Diam
45	0,401123	0,049072	0,910156	Kepala Diam
46	0,4021	0,060547	0,901611	Kepala Diam
47	0,409424	0,059326	0,896729	Kepala Diam
48	0,418213	0,049072	0,899414	Kepala Diam
49	0,433594	0,054443	0,893799	Kepala Diam
50	0,461914	0,042969	0,893555	Kepala Diam

51	0,454346	0,057129	0,883545	Kepala Diam
52	0,462158	0,060303	0,875488	Kepala Diam
53	0,450439	0,045898	0,875	Kepala Diam
54	0,463867	0,054199	0,884521	Kepala Diam
55	0,43042	0,046631	0,891113	Kepala Diam
56	0,474854	0,049805	0,873779	Kepala Diam
57	0,453125	0,04834	0,868896	Kepala Diam
58	0,45166	0,041748	0,870117	Kepala Diam
59	0,482178	0,050781	0,832764	Kepala Diam
60	0,345703	0,024414	0,797363	Kepala Diam
61	0,619873	0,00293	0,518311	Perubahan Posisi Kepala
62	1,384521	3,899414	0,127686	Perubahan Posisi Kepala
63	1,180908	3,948242	0,162598	Perubahan Posisi Kepala
64	0,87207	0,03833	0,351807	Perubahan Posisi Kepala
65	0,918945	0	0,473389	Perubahan Posisi Kepala
66	0,585205	0,076416	0,660889	Kepala Diam

67	0,571533	0,02002	0,726807	Kepala Diam
68	0,551758	0,018066	0,770752	Kepala Diam
69	0,561768	0,03418	0,793945	Kepala Diam
70	0,594482	0,023438	0,812988	Kepala Diam
71	0,548828	0,023193	0,828857	Kepala Diam
72	0,586426	0,053467	0,825684	Kepala Diam
73	0,544189	0,037842	0,821045	Kepala Diam
74	0,560303	0,040527	0,828857	Kepala Diam
75	0,51416	0,027588	0,831787	Kepala Diam
76	0,544434	0,032227	0,843018	Kepala Diam
77	0,492432	0,032715	0,843262	Kepala Diam
78	0,489746	0,033203	0,858154	Kepala Diam
79	0,481689	0,031738	0,85498	Kepala Diam
80	0,492676	0,0354	0,850586	Kepala Diam
81	0,484131	0,046875	0,852539	Kepala Diam
82	0,495117	0,041992	0,860107	Kepala Diam
83	0,509277	0,028809	0,850098	Kepala Diam
84	0,523193	0,03418	0,844727	Kepala Diam
85	0,543457	0,040283	0,84082	Kepala Diam

86	0,52417	0,044678	0,837891	Kepala Diam
87	0,528809	0,037598	0,827393	Kepala Diam
88	0,556396	0,037598	0,823242	Kepala Diam
89	0,553223	0,03833	0,805664	Kepala Diam
90	0,568604	0,049072	0,789307	Kepala Diam
91	0,591553	0,030518	0,775146	Kepala Diam
92	0,586426	0,064697	0,722656	Kepala Diam
93	0,645508	3,922119	0,494141	Perubahan Posisi Kepala
94	0,991455	3,955078	0,192627	Perubahan Posisi Kepala
95	1,228271	3,947754	0,083984	Perubahan Posisi Kepala
96	0,983398	3,983154	0,321777	Perubahan Posisi Kepala
97	0,908447	0,016113	0,532715	Perubahan Posisi Kepala
98	0,709473	0,058838	0,673096	Kepala Diam
99	0,552002	0,048096	0,773682	Kepala Diam
100	0,656494	0,097656	0,801514	Kepala Diam
101	0,570801	0,081299	0,819336	Kepala Diam

102	0,512207	0,079834	0,838135	Kepala Diam
103	0,517334	0,077881	0,828613	Kepala Diam
104	0,600342	0,068848	0,838379	Kepala Diam
105	0,50293	0,072266	0,855469	Kepala Diam
106	0,543213	0,070557	0,85791	Kepala Diam
107	0,510742	0,076904	0,852539	Kepala Diam
108	0,49292	0,068359	0,856934	Kepala Diam
109	0,512207	0,087158	0,855957	Kepala Diam
110	0,513916	0,072998	0,847168	Kepala Diam
111	0,497314	0,070313	0,847412	Kepala Diam
112	0,501709	0,07373	0,843506	Kepala Diam
113	0,499268	0,072998	0,842041	Kepala Diam
114	0,498779	0,067627	0,843506	Kepala Diam
115	0,499023	0,080322	0,845947	Kepala Diam
116	0,504883	0,067139	0,834717	Kepala Diam
117	0,560059	0,071289	0,820313	Kepala Diam
118	0,53418	0,084717	0,811768	Kepala Diam
119	0,568115	0,072266	0,791748	Kepala Diam
120	0,608887	0,072021	0,773926	Kepala Diam

121	0,603516	0,062012	0,735596	Kepala Diam
122	0,496338	0,069092	0,681152	Kepala Diam
123	0,692627	0,0271	0,198242	Perubahan Posisi Kepala
124	1,298096	3,926025	0,139893	Perubahan Posisi Kepala
125	1,228516	3,916016	0,065186	Perubahan Posisi Kepala
126	0,957031	3,988281	0,269287	Perubahan Posisi Kepala
127	0,740967	0,024658	0,512695	Perubahan Posisi Kepala
128	0,622314	0,072998	0,661621	Kepala Diam
129	0,612061	0,074707	0,711914	Kepala Diam
130	0,736328	0,071045	0,741699	Kepala Diam
131	0,598633	0,088623	0,775391	Kepala Diam
132	0,56958	0,030518	0,795166	Kepala Diam
133	0,538818	0,075928	0,800049	Kepala Diam
134	0,583252	0,050049	0,795166	Kepala Diam
135	0,621582	0,06958	0,79834	Kepala Diam
136	0,621826	0,039795	0,779297	Kepala Diam

137	0,572266	0,066406	0,800537	Kepala Diam
138	0,594482	0,062988	0,793701	Kepala Diam
139	0,577393	0,050537	0,794678	Kepala Diam
140	0,57666	0,055176	0,803711	Kepala Diam
141	0,586914	0,060059	0,804443	Kepala Diam
142	0,621826	0,064209	0,786133	Kepala Diam
143	0,60498	0,056396	0,801514	Kepala Diam
144	0,606689	0,067139	0,791016	Kepala Diam
145	0,590332	0,056152	0,787109	Kepala Diam
146	0,648682	0,054199	0,760254	Kepala Diam
147	0,645264	0,049805	0,750244	Kepala Diam
148	0,638184	0,050049	0,746826	Kepala Diam
149	0,674072	0,04541	0,719971	Kepala Diam
150	0,714355	0,04541	0,703857	Kepala Diam
151	0,628662	0,025879	0,645508	Kepala Diam
152	0,621094	0,025635	0,479492	Kepala Diam
153	1,108643	3,983887	3,975586	Perubahan Posisi Kepala
154	1,688477	3,838379	3,834473	Perubahan Posisi Kepala

155	1,170654	3,874023	3,946533	Perubahan Posisi Kepala
156	0,611572	3,980225	0,281738	Kepala Diam
157	0,5979	0,039063	0,51123	Kepala Diam
158	0,83667	0,043213	0,583496	Kepala Diam
159	0,74292	0,002686	0,62207	Kepala Diam
160	0,737793	0,048096	0,656982	Kepala Diam
161	0,651367	0,043701	0,6875	Kepala Diam
162	0,708008	0,040771	0,687988	Kepala Diam
163	0,692383	0,047607	0,689453	Kepala Diam
164	0,709961	0,04126	0,70459	Kepala Diam
165	0,644775	0,058594	0,70459	Kepala Diam
166	0,619385	0,070068	0,725586	Kepala Diam
167	0,685059	0,056885	0,728516	Kepala Diam
168	0,699951	0,050293	0,713379	Kepala Diam
169	0,640137	0,046143	0,717285	Kepala Diam
170	0,673584	0,048828	0,706299	Kepala Diam
171	0,733154	0,043457	0,704102	Kepala Diam
172	0,732422	0,043213	0,700684	Kepala Diam

173	0,66626	0,038574	0,734131	Kepala Diam
174	0,636475	0,054199	0,76123	Kepala Diam
175	0,64502	0,044189	0,748535	Kepala Diam
176	0,648193	0,040527	0,730225	Kepala Diam
177	0,680664	0,032227	0,725342	Kepala Diam
178	0,639893	0,031738	0,702637	Kepala Diam
179	0,494629	0,042969	0,612793	Kepala Diam
180	0,853271	0,003906	0,24585	Kepala Diam
181	1,300293	3,996582	0,245605	Kepala Diam
182	0,803223	3,998291	0,417969	Kepala Diam
183	0,710205	3,994385	0,623779	Kepala Diam
184	0,662598	0,049316	0,675293	Kepala Diam
185	0,488037	0,045898	0,783691	Kepala Diam
186	0,701904	0,031982	0,717773	Kepala Diam
187	0,689941	0,073486	0,724609	Kepala Diam
188	0,632813	0,034912	0,754639	Kepala Diam
189	0,472412	0,027588	0,846924	Kepala Diam
190	0,521729	0,042969	0,873047	Kepala Diam
191	0,466797	0,033936	0,793701	Kepala Diam

192	0,511475	0,039063	0,844238	Kepala Diam
193	0,516357	0,065186	0,860596	Kepala Diam
194	0,51416	0,056641	0,844727	Kepala Diam
195	0,48999	0,05957	0,864258	Kepala Diam
196	0,479736	0,033936	0,859375	Kepala Diam
197	0,500732	0,076172	0,863281	Kepala Diam
198	0,489502	0,061279	0,864014	Kepala Diam
199	0,495117	0,054199	0,851318	Kepala Diam
200	0,522705	0,065918	0,845215	Kepala Diam
201	0,508789	0,070068	0,852783	Kepala Diam
202	0,510986	0,041016	0,846436	Kepala Diam
203	0,372559	0,204102	0,869629	Kepala Diam
204	0,560547	3,993652	0,864258	Kepala Diam
205	0,415527	0,082031	0,856445	Kepala Diam
206	0,467529	0,091797	0,848877	Kepala Diam
207	0,469971	0,092529	0,860352	Kepala Diam
208	0,48877	0,075928	0,858887	Kepala Diam
209	0,493408	0,091309	0,845215	Kepala Diam

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

RIWAYAT HIDUP



Mustofa Amirullah adalah nama dari penulis laporan Tugas Akhir ini. Dilahirkan di Pacitan pada tanggal 11 Juli 1995 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Menyelesaikan pendidikan SD Negeri Tengket 1 (2001-2007), SMP Negeri 1 Bangkalan (2007-2010), SMA Negeri 1 Bangkalan (2010-2013), dan D3 Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya (2013-2016). Pada tahun 2016 melanjutkan pendidikan lintas jalur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Departemen Teknik Elektro. Di Departemen Teknik Elektro ini, kemudian memilih bidang elektronika sebagai bidang studi yang ditekuni. Pada bulan Juni 2018, mengikuti seminar Tugas Akhir dan pada Juli 2018 mengikuti ujian Tugas Akhir sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.